

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**KONSTRUKČNÍ NÁVRH VYVRTÁVACÍ HLAVY
NA VRTAČKU**

DESIGN OF A BORING HEAD FOR A DRILL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Hradský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Kočiš

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Martin Hradský**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Petr Kočiš**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Konstrukční návrh vyvrtávací hlavy na vrtačku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma práce spadá do oblasti obráběcích strojů a příslušenství. Práce bude mít podobu odborné rešerše i řešení dílčího technického problému, jímž je návrh konstrukce vyvrtávací hlavy na vrtačku.

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská část bude obsahovat dvě části: rešeršní a praktickou. V rešeršní části bude vypracovaný přehled vyvrtávacích hlav dostupných na trhu, včetně jejich vlastností.

Cílem praktické části bude navrhnout vyvrtávací hlavu na vrtačku. Vyvrtávací hlava bude mít excentricky uložené vřeteno. Pohybem vřetena po kružnici bude fréza upevněná ve vřetenu frézovat otvor v obrobku. Průměr kružnice, po které se bude vřeteno pohybovat, bude nastavitelný. Návrh frézovací hlavy bude obsahovat počítačový 3D model, potřebné výpočty, výkres sestavy a 3 výrobní výkresy jednotlivých součástí.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů. Vyd. 2, přeprac., rozš. Praha: MM publishing, 2010, 420 s. : il. ISBN 978-80-254-7980-3.

MM Průmyslové spektrum [online]. Praha: MM publishing, c2016 [cit. 2016-09-23]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/uvod.html>

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalárska práca, patriaca do oblasti nástrojov na obrábacie stroje, sa zaoberá vyvítavaním. Práca je rozdelená na rešeršnú časť, v ktorej je spracovaný prehľad vyvítavacích hláv a na praktickú časť, v ktorej je vytvorený konštrukčný návrh vyvítavacej hlavy. Ide konkrétne o hlavu s excentricky uloženým vretenom, ktorého pohybom po kružnici bude fréza uchytaná v ňom frézovať otvor. Výsledkom konštrukčného riešenia je vyvítavacia hlava, ktorá sa skladá predovšetkým z dvojstupňovej planétovej prevodovky, čelného ozubení a prevodu ozubeným remeňom.

ABSTRACT

The bachelor thesis, which belongs to the field of machine tool tools, deals with drilling. The thesis is divided into a search section where a review of the drill head is processed and the practical part in which the design of the drill head is made. This is particularly the head with an eccentric spindle, the movement of which on the circle will be a milling cutter that will cut the hole. The result of the design is a drill head, which consists of a two-stage planetary gear, a toothing and a toothed belt drive.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Vyvítavacia hlava, planétová prevodovka, ozubený remeň, ozubené kolo.

KEYWORDS

Boring head, planetary gear, toothed belt, gear.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HRADSKÝ, M. *Konstrukční návrh vyvrtávací hlavy na vrtačku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 57 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Kočíš.

POĎAKOVANIE

Týmto by som rád poďakoval predovšetkým Ing. Petrovi Kočišovi za cenné rady a pomoc pri vypracovaní bakalárskej práce. Tiež by som veľmi rád poďakoval svojej, rodine, priateľke a kamarátom za podporu, pomoc a trpezlivosť pri štúdiu.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing.Petra Kočiša a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 23.5.2017

.....

Hradský Martin

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	VYVŔTAVANIE	16
2.1	Kinematika vyvŕtavania	16
2.2	Výhody vyvŕtavania	17
2.2.1	Vybočenie vrtáku	17
2.2.2	Oprava polohy otvoru	18
3	NÁSTROJE	19
3.1	Vyvŕtavacie hlavy	19
3.1.1	Vyvŕtavacie hlavy univerzálne - Vhu	19
3.1.2	Vyvŕtavacia hlava so zvýšenou presnosťou - Vh	21
3.1.3	Vyvŕtavacia hlava nastaviteľná (stavitelná) - Vhs	22
3.1.4	Hrubovacia vyvŕtavacia hlava nastaviteľná	22
3.1.5	Hrubovacia vyvŕtavacia hlava	23
3.1.6	Presná vyvŕtavacia hlava - 205bh	24
3.1.7	Jemné vyvŕtavacie hlavy	26
3.1.8	Presná vyvŕtavacia hlava DigiBore	27
3.1.9	Presná vyvŕtavacia hlava Nanobore®	28
3.2	Porovnanie vyvŕtavacích hláv	29
4	FRÉZOVANIE	30
4.1	Nesúsledné frézovanie	30
4.2	Súsledné frézovanie	30
4.3	Zväčšovanie otvoru frézovaním	31
5	KONŠTRUKČNÝ NÁVRH VYVŔTAVACEJ HLAVY	33
5.1	Výpočet rezných podmienok pri frézovaní	33
5.2	Výpočet planétovej prevodovky	36
5.2.1	Výpočet základných rozmerov prvého planétového prevodu	36
5.2.2	Výpočet základných rozmerov druhého planétového prevodu	39
5.3	Výstupné otáčky	42
5.3.1	Zníženie otáčok	42
5.3.2	Zvýšenie otáčok	42
5.4	Výpočet minimálneho priemeru hriadeľa	43
5.5	Výsledné riešenie vyvŕtavacej hlavy	45
6	ZÁVER	49
7	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	51
8	ZOZNAM ZKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK	53
8.1	Zoznam skratiek	53
8.2	Zoznam tabuliek	55
8.3	Zoznam obrázkov	55
9	ZOZNAM PRÍLOH	57

1 ÚVOD

Bakalárska práca, patriaca do oblasti nástrojov na obrábacie stroje, sa zaoberá vyvrtávaním. Jedná sa o nástroje, ktoré sú používané vo vŕtačkách a sú schopné obrábať rotačné plochy, ktoré majú tvar valcový, kužeľový, čelného medzikružia, alebo rotačnej tvarovej plochy. Pri zložitejších tvaroch môžu byť tieto rotačné plochy kombinované a v prípade potreby sa môže obrábať aj z vonkajšej strany.

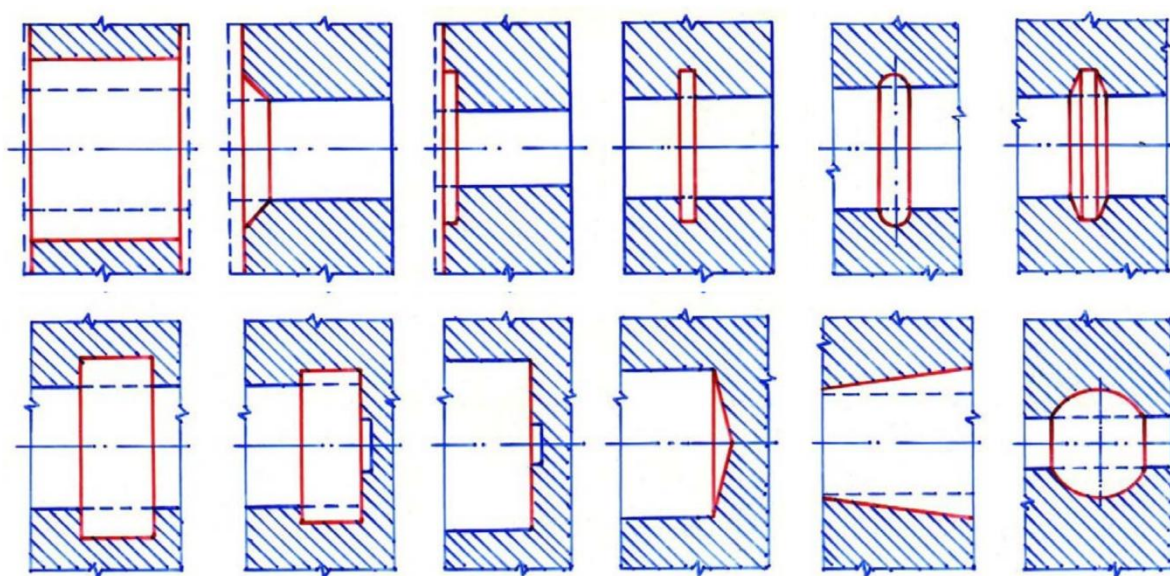
Prvá časť je rešeršná, v ktorej je vypracovaný prehľad vyvrtavacích hláv dostupných na trhu. Prehľad je zameraný na vlastnosti hláv ako rozsah vyvrtávania, presnosť nastavenia požadovaného priemeru, presnosť vyvrtávania otvoru, prípadne otáčky a spôsob upnutia. Tiež sú v tejto časti spomenuté hlavné výhody používania vyvrtavacích hláv. Každá hlava je zobrazená na obrázku, ktorý je v prípade potreby popísaný a tým bližšie určuje jej fungovanie. Keďže navrhnutá hlava bude frézovať otvor, tak v tejto časti tiež okrajovo spomenuté frézovanie.

Druhá časť práce je praktická, v ktorej je navrhnuté konštrukčné riešenie hlavy, ktorá má excentricky uložené vreteno. Pohybom tohto vretena po kružnici buď frézovaný otvor pomocou frézy, ktorá je v ňom uchytaná. Súčasťou tejto časti sú výpočty rezných podmienok, základných rozmerov planétovej prevodovky a minimálneho priemeru hriadeľa. Výpočet bezpečnosti ozubení planétovej prevodovky a základné informácie o prevode pomocou ozubeného remeňa sú v prílohe. Táto hlava funguje inak ako nájdené hlavy v rešeršnej časti, hlava podobná tejto nebola nájdená na trhu. Zobrazené sú obrázky hlavy s odkazmi, pomocou ktorých je popísané jej fungovanie. Na záver sú priložené dva výkresy súčastí a výkres zostavy.

2 VYVŔTAVANIE

Vyvŕtavanie je metóda obrábania, ktorou sa rozširujú predliate, predvŕtané, predlisované, predkované, a inými spôsobmi vopred zhotovené otvory na požadovaný rozmer alebo tvar. Metóda vyvŕtavania sa používa pre hrubovanie aj pre prácu na čisto (dokončovanie) [1] [3].

Na obrábanie sa používajú vyvŕtavacie nože upevnené vo vyvŕtavacích tyčiach alebo hlavách. Obrábané rotačné plochy majú tvar valcový, kužeľový, čelného medzikružia, alebo rotačnej tvarovej plochy (obr. 1). Pri zložitejších obrobkoch môžu byť všetky uvedené rotačné plochy kombinované v rôznom poradí na jednej alebo viacerých osiach umiestnených v rovine alebo v priestore. Vyvŕtavacie stroje umožňujú v prípade potreby obrábať uvedené plochy aj z vonkajšej strany [1].

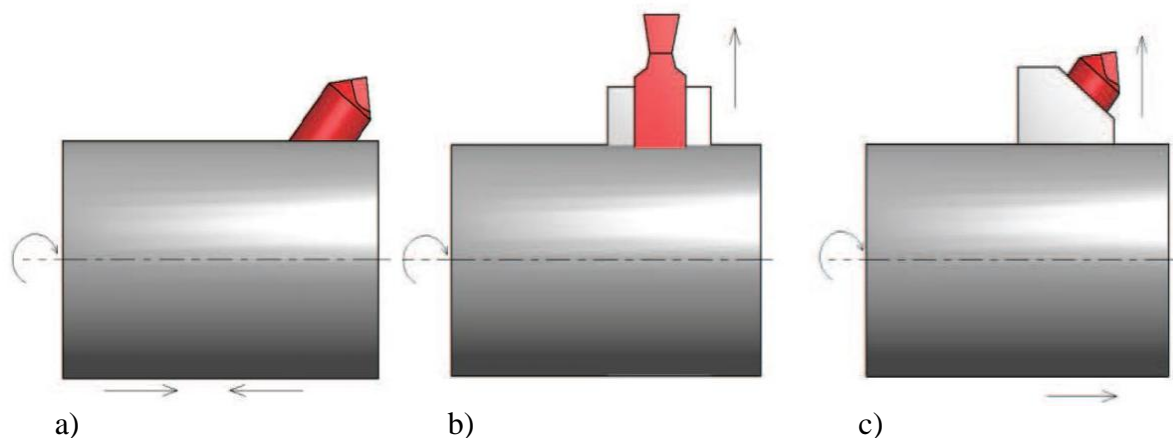


Obr. 1) Príklady plôch obrábaných vyvŕtavaním [1]

2.1 Kinematika vyvŕtavania

Kinematika vyvŕtavania môže byť realizovaná na základe niektorého z troch základných spôsobov (obr. 2):

- Nástroj vykonáva hlavný pohyb - rezný pohyb v_c , vyvŕtavací nôž je pevne uložený vo vyvŕtavacej tyči alebo hlave a koná pozdĺžny posuvový pohyb do rezu v_f . Radiálny posuv v_r je rovný nule, nôž je voči obrobku nastavený na konštantnú hodnotu šírky záberu ostrie. Takouto kinematikou je možné obrábať valcové plochy.
- Nástroj vykonáva hlavný pohyb - rezný pohyb v_c , nôž sa vysúva z vyvŕtavacej tyče alebo hlavy plynulo alebo trhavo (najčastejšie vždy za jednu otáčku) radiálnym posuvom v priečnom smere. V tomto prípade je pozdĺžny posuv rovný nule. Táto kinematika sa využíva na obrábanie zápichov.
- Nástroj alebo obrobok vykonáva hlavný pohyb v_c aj pozdĺžny pohyb v_f , pričom sa nôž z tyče alebo hlavy plynulo alebo trhavo vysúva v priečnom smere radiálnym posuvom. Touto Kinematikou je možné obrábať tvarové rotačné plochy [1] [2].



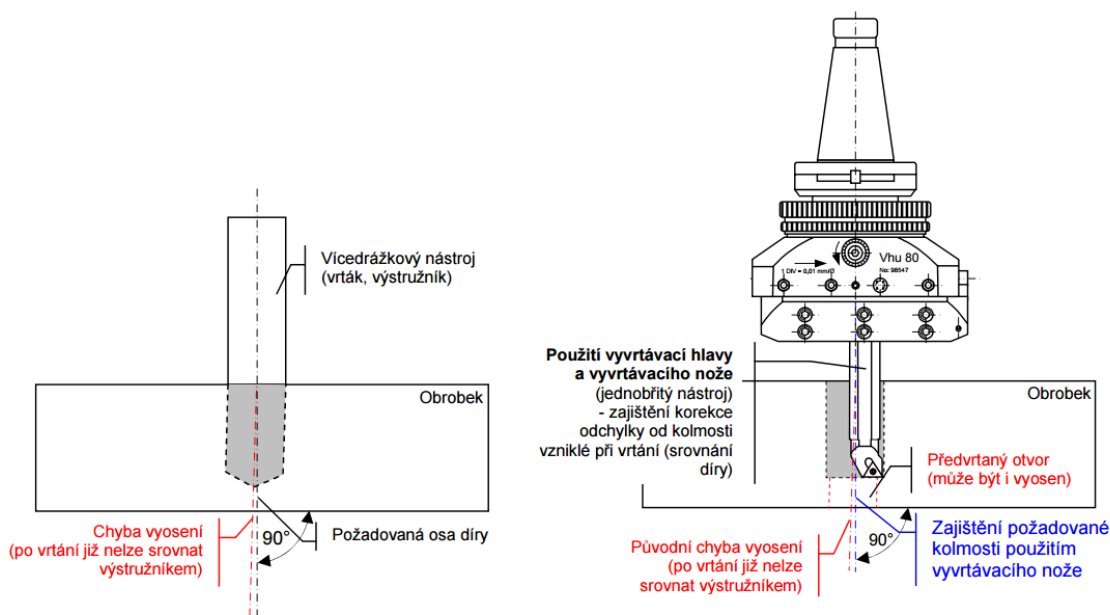
Obr. 2) Posuv nástroja a) pozdĺžny b) priečny c) pozdĺžny a priečny [4]

2.2 Výhody vyvrtavania

Presný otvor môžeme zhotoviť pomocou vrtáku, výhrubníku, výstružníku a vyvrtavacej hlavy. Nevýhodou vrtáku, výhrubníku a výstružníku je, že každý z týchto nástrojov je určený len pre jediný priemer otvoru a pre iné rozmery otvorov sa musia kupovať ďalšie nástroje. Tieto nástroje majú dva a viac britov, čo môže spôsobiť nepresnú kruhovitú otvoru a vybočenie nástroja z osi otvoru. Pri použití vyvrtavacej hlavy je možné pomocou jedného noža vyvrtávať otvory v celom rozsahu priemerov. Ďalšia výhoda vyvrtavania je schopnosť vytvoriť dokonale kruhovitú dieru rotáciou jedného britu vyvrtavacieho noža okolo osi vretena obrábacieho stroja [5].

2.2.1 Vybočenie vrtáku

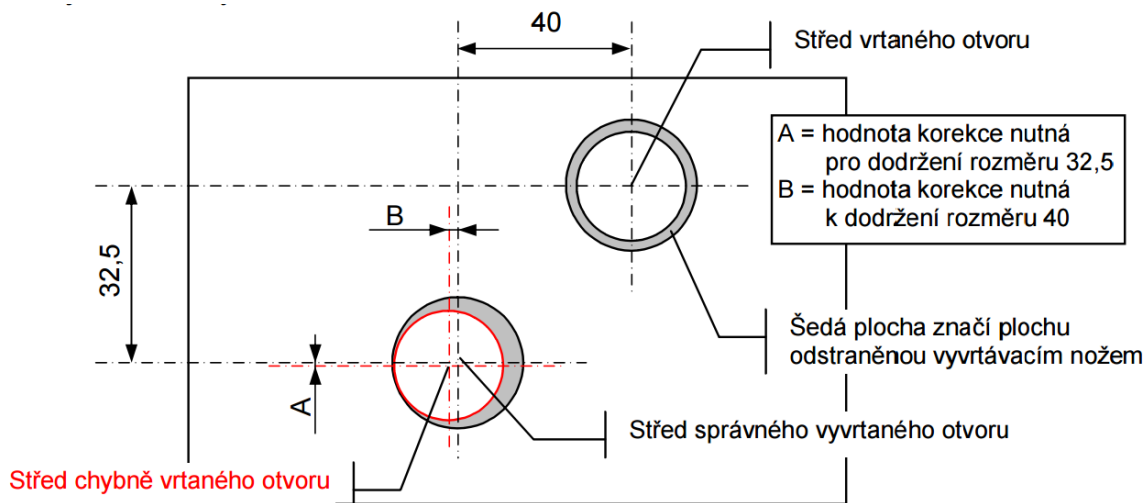
Vybočenie vrtáku môže byť výsledkom zle uchyteného viacbritého nástroja alebo môže nastať, keď sa jeden z britov otupí. Na tupý brit je vyvíjaný väčší rezný odpor. Táto sila unáša nástroj v smere ostrejšieho britu. Toto vybočenie nemožno napraviť ani pomocou výstružníku, pretože má tendenciu kopírovať pôvodný predvrtaný otvor. Napraviť túto odchýlku je možné jedine jednobritým nástrojom - vyvrtavacím nožom používaným vo vyvrtavacích hlavách, obr. 3 [5].



Obr. 3) Vybočení vrtáku [5]

2.2.2 Oprava polohy otvoru

Ďalšia z veľkých výhod používania vyvrtávacích hláv s jednobřitým nástrojom je schopnosť opraviť správnu polohu otvoru alebo niekoľko otvorov (obr. 4). Táto náprava je možná vďaka tomu, že jednobřitý nástroj môže odoberať väčšie množstvo materiálu z jednej strany ako z druhej. Táto operácia môže byť realizovaná iba vtedy, pokiaľ je dostatočný prídavok na vyvrtávanie [4].



Obr. 4) Oprava polohy otvoru [5]

3 NÁSTROJE

Nástroje pre vyvrtávanie je možné rozdeliť z niekoľkých základných hľadísk a to podľa:

- Upnutia - letný vyvrtavací nástroj, podoprený vyvrtavací nástroj (v jednom vodiacom púzdre alebo v dvoch vodiacich púzdach)
- Konštrukcie - vyvrtavacie tyče, vyvrtavacie hlavy
- Typu operácie - hrubovacie, dokončovacie, pre jemné vyvrtávanie
- Spôsobu výmeny - pre ručnú výmenu, pre automatickú výmenu
- Počtu rezných častí - nástroje jednonožové, nástroje viacnožové
- Podľa možnosti nastavenia rozmeru - s pevne nastaveným rozmerom, s možnosťou axiálnej alebo radiálnej zmeny rozmeru [1]

3.1 Vyvrtavacie hlavy

Vyvrtavacie hlavy sa používajú na zväčšovanie už vopred hotových otvorov. Hlavné využitie majú pri vyvrtávaní väčších otvorov, kde nie je možné použiť záhlbníky, výhrubníky a výstružníky.

3.1.1 Vyvrtavacie hlavy univerzálne - Vhu

Univerzálna Vyvrtavacia hlava (Vhu) je vyvrtavací prístroj, ktorý podstatne rozširuje možnosti vyvrtavacích vŕtačiek, frézok a podobných strojov. Vhu môže byť nasadená na ľubovoľnú vŕtačku, vyvrtávačku či frézu pomocou kužeľovej stopky VK (VK360, VK800 alebo VK801, záleží na veľkosti hlavy). Vhu je určená k opracovaniu pevne uchyteného obrobku pre kusovú alebo sériovú výrobu [6][7].

Hlavy sa používajú k presnému vyvrtávaniu valcových otvorov, zápichov, kužeľov, závitov, zarovnávaní čiel tiež k obrábaniu vonkajších valcových plôch. Rozsah vyvrtávania je \varnothing 6-720 mm. Presnosť nastavenia je 0,01 mm/ \varnothing a je vhodná pre hrubovanie aj dokončovanie. [10] [6]

Základným prvkom hlavy (podľa obr. 6) je teleso (46), v ktorom sú kolmo na jeho os otáčania uložené sane (27) v rybinovom vedení. Vôľa medzi vodiacími plochami je vymedzená pravítkom. Sústavu sane - teleso je možné spevniť dotiahnutím skrutky, tým sa pritisne pravítko k saniam a sústava lepšie odoláva chveniu a samovoľnej zmene nastaveného rozmeru. V saniach v dvoch klzných ložiskách je otočne uložená vodiaca skrutka (34) s Tr závitom [8].

Pri obrábaní čelnej plochy otvorov, zapichovaní a vyvrtávaní kužeľovej plochy je nutné použitie samočinného posuvu saní. Posuv saní je nastaviteľný v 3 až 4 veľkostiach a vypína sa samočinne na nastavenom doraze kolíkovou spojkou. Rotačný pohyb hlavy umožňuje tento posuv za predpokladu, že je zvolený jeden z posuvov. Skrutku (34) istí proti samovoľnému otočeniu západka (28), ktorá je pružinkou (29) tlačaná do jedného z troch otvorov v hlave skrutky, čo je znázornené na obr. 5. Pri pootočení skrutky zaskočí do otvoru z ktorého vytlačí guľôčku (33). Guľôčka zasahuje časťou do šesťhranného otvoru pre imbusový kľúč. Po nasadení kľúča zmení guľôčka svoju pozíciu, vysunie západku a tým je skrutka uvoľnená pre rýchle presunutie saní [6][8].

K nastavení rozmeru pri presnom vyvrtávaní slúži šnek so stupnicou (41), ktorý je otočne uložený v telese. Pomocou kľúča je možné otáčať šnekom na obe strany. Pri pootočení

o jeden dielik sa sane vysunú z telesa o 0,005 mm. Otočne uložené šnekové koleso (42) je ako matica naskrutkované na vodiacu skrutku v saniach. Pokiaľ sa otáča šnek, otáča sa aj šnekové koleso a vodiaca skrutka sa v ňom axiálne posúva a unáša so sebou sane [6][8].

Legenda k obr. 5 a obr.6 :

5 - spojka

6 - brzdiaci krúžok

27 - sane

28 - západka

29 - pružinka

33 - gulôčka

34 - vodiaca skrutka

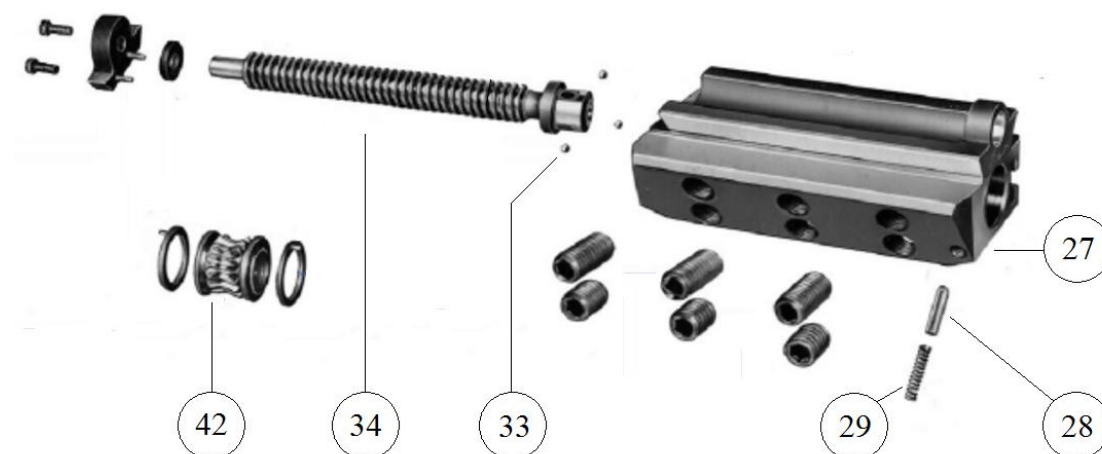
41 - šnek so stupnicou

42 - šnekové koleso

46 - teleso

50 - zastavovacia tyč

K - kužeľová stopka



Obr. 5) Detail spodnej časti Vhu [9]



Obr. 6) Vhu firmy NAREX MTE s.r.o. [6]

3.1.2 Vytvřetavacia hlava so zvýšenou presnosťou - Vh

Vytvřetavacia hlava so zvýšenou presnosťou slúži k veľmi presnému vytvřetavaniu vopred hotových valcových otvorov v rozsahu Ø6-225 mm, s použitím špeciálneho príslušenstva sa dosahuje priemer až 400 mm [11].

Ich zvýšená presnosť pri nastavovaní vytvřetavaného priemeru vychádza z použitia diferenciálnej pohybovej skrutky a pomocnej kruhovej matice. Matica je buď skrutkou unášaná a otáča sa s ňou (poloha I pre hrubé nastavenie priemeru), alebo s ňou zaberá (poloha II pre jemné nastavenie priemeru). V polohe II je matica zabrzdená dotiahnutím skrutky (10), vid' obrázok 7. Hlava je určená pre konvenčné stroje ale aj pre CNC obrábacie stroje, na vytvřetavanie otvorov s presnosťou IT7 [11][6].

Vytvřetavacia hlava je zložená z telesa (1), ku ktorému je pomocou štyroch skrutiek (11) pripevnená vymeniteľná upínacia stopka (18) typu VK360, VK801. V telese sú posuvne uložené sane (2). Pohyb saní je odvodený ovládacej skrutky (3). Uvoľnením skrutky (10) je presnosť nastavenia hrubšia - pri pootočení vodiacej skrutky o jeden dielik, dôjde k posuvu saní o 0,01 mm (vytvřetavaný priemer sa zvýši o 0,02 mm). Pri dotiahnutí sa prepne na presné nastavovanie, jeden dielik sa rovná 0,0025 mm/Ø (sane sa vysunú o 0,00125 mm) [11].

Legenda k obr. 7:

1 - teleso

2 - sane

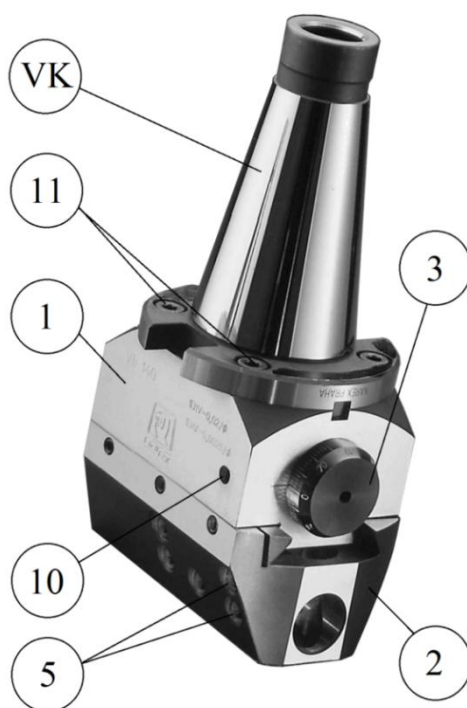
3 - ovládacia skrutka

5 - aretačná skrutka

10 - prepínanie presnosti nastavenia

11 - skrutky pre upevnenie VK

VK - vymeniteľná upínacia stopka typu VK360 a VK801



Obr. 7) Vh firmy NAREX MTE s.r.o. [11]

3.1.3 Vyvrtavacia hlava nastaviteľná (staviteľná) - Vhs

Vyvrtavacia hlava nastaviteľná sa používa k presnému vyvrtávaniu valcových otvorov na vyvrtavacích, frézovacích a iných strojoch s presnosťou IT7. Hlava sa dá použiť tiež pre CNC obrábacie stroje sa automatickou výmenou nástrojov. Vymeniteľná upínacia stopka nie je súčasťou telesa hlavy. V saniach sú upínacie otvory buď kruhové, alebo kombinované pre upnutie kruhového alebo štvorhranného profilu telesa noža [12][13].

Základ hlavy tvorí teleso (1) vid' obrázok 8. Je osadené prírubou pre upnutie vymeniteľnej upínacej stopky. V spodnej časti hlavy sú sane (2), ktoré sú priečne uložené. Poloha saní voči telesu sa aretuje aretačnou skrutkou (4). K nastaveniu rozmeru slúži skrutka so stupnicou (3). Jej otáčaním dochádza k posuvu saní. Pri pootočení skrutky so stupnicou o jeden dielik sa zväčší priemer vyvrtávaného otvoru o 0,01 mm (posuv saní o 0,005 mm) [13].

Legenda k obr. 8:

1 - teleso

2 - sane

3 - skrutka so stupnicou

4 - aretačná skrutka saní

5 - aretačná skrutka vyvrtavacieho noža

VK - výmenná upínacia stopka

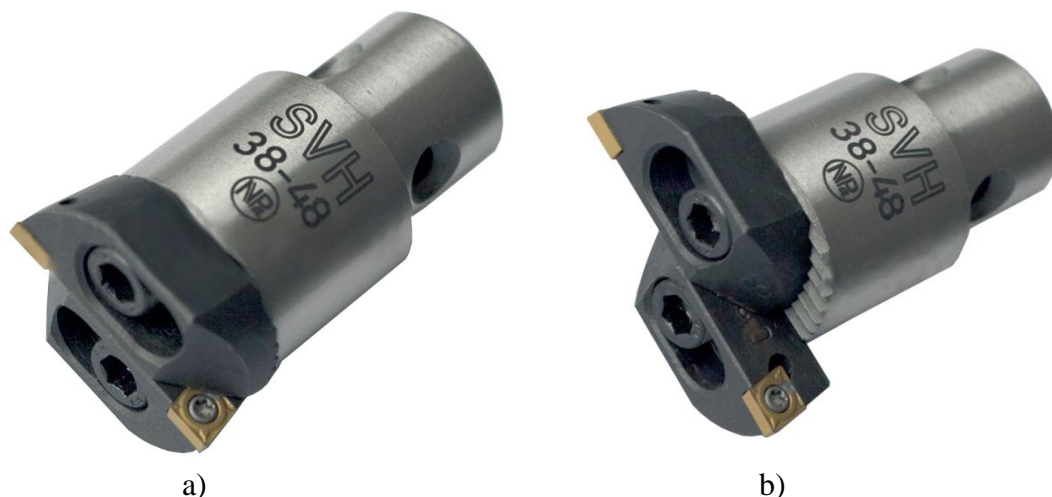


Obr. 8) Vhs firmy NAREX MTE s.r.o. [13]

3.1.4 Hrubovacia vyvrtavacia hlava nastaviteľná

Vyvrtavacia hrubovacia hlava SVH 38 - 48 (vid' obr. 9) umožňuje nastaviť priemer vyvrtávania pomocou šesťhranných zásuvných kľúčov. Pri tejto hlave sa rozsah priemeru vyvrtávania pohybuje od 38 mm do 48 mm [14].

Pri nastavovaní priemeru treba povoliť spodné držiaky nožov 5 mm kľúčom a nastaviť požadovaný priemer. Po nastavení treba držiaky dotiahnuť. Vonkajší priemer hlavy je 30 mm. Hlava využíva modulárny upínací systém (MUS) s priemerom 22mm (uchytenie do ľubovoľného držiaku MUS 22). Hlava používa vymeniteľné britové doštičky s označením VBD - CCMT 06 a typ uloženia je VBD - SCLCR 06 [14].



Obr. 9) SVH 38 - 48: a) min. priemer, b) max. priemer [14]

3.1.5 Hrubovacia vyvrtavacia hlava

Vyvrtavacie hlavy pre hrubovanie A750 (vid' obr. 10) od firmy SecoTools s.r.o. sú dostupné v rozsahu priemerov 18 až 205 mm, rada sa skladá z ôsmych vyvrtavacích hláv. Presnosť vyvrtaných otvorov sa pohybuje medzi IT9 a IT 10. Tieto hlavy boli navrhnuté pre dosiahnutie najväčšieho možného výkonu pri vyvrtávaní. Ide o robustné prevedenie s dvomi bitmi [15][26].

Držiak doštičiek má nábehový uhol 90° a 80° a je zaistený jednou centrálnou skrutkou proti axiálnemu a radiálnemu posuvu. Využitie plného výkonu doštičky je možné vďaka tomu, že držiak doštičiek je opretý celou svojou plochou o teleso vyvrtavacej hlavy počas obrábania. Hlava obsahuje aj kanáliky pre chladiacu tekutinu, ktorá je smerovaná na doštičky. Nevyváženie je minimalizované vďaka symetrickej konštrukcii [15].

Držiak doštičiek sa nastavuje simultánne alebo nezávisle pomocou zabudovaného spojovacieho mechanizmu. Je možné stupňovité i symetrické nastavenie. Ľahké zostavenie a výmena držiaku doštičiek (len jedna skrutka) [15].



Obr. 10) Hrubovacia hlava A750 50 [15]

3.1.6 Presná vyvrtavacia hlava - 205bh

Vyvrtavacia hlava 205bh (obr. 11) od firmy NAREX MTE s.r.o. je určená hlavne pre CNC obrábacie stroje. Priemer vyvrtavanej diery sa pohybuje od 6 do 100 mm a presnosť je IT 6. Hlava nie je vyvažovaná ani staticky, ani dynamicky, preto treba dodržiavať maximálne povolené otáčky. Doporučené rezné podmienky závisia na druhu obrábaného materiálu (napr. pri obrábaní konštrukčnej oceli 400 MPa s nožmi D, E je rezná rýchlosť 150-230 m/min) [17][6].

Základom hlavy je teleso (1), ktoré je osadené valcovou upínacou stopkou. V stopke je pozdĺžny otvor pre prívod chladiacej kvapaliny k britu noža [17].

V spodnej časti telesa sú priečne uložené sane (2). Sane majú otvor $\varnothing 16H7$ pre upínanie vyvrtavacích nožov a držiakov. Sú vybavené pozdĺžnym drážkovaním a dvomi otvormi so závitom M 6 pre upínanie nožových jednotiek M a N (viď obr. 12). Poloha saní sa zaisť voči telesu dotiahnutím aretačnej skrutky (18) [17].

K nastaveniu rozmeru slúži šnek so stupnicou. Jeho otáčaním dochádza k posúvaniu saní, pootočením stupnice o jeden dielik, sa sane vysunú o 0,001 mm (priemer vyvrtavaného otvoru sa zväčší o 0,002 mm). Pri otáčaní stupnice musí byť povolená aretačná skrutka [17].

Na obr. 13. môžete vidieť vyvrtavací nôž typu E nasadený v hlave pre obrábanie otvorov od 18 do 26 mm.

Legenda k Obr. :

1 - teleso

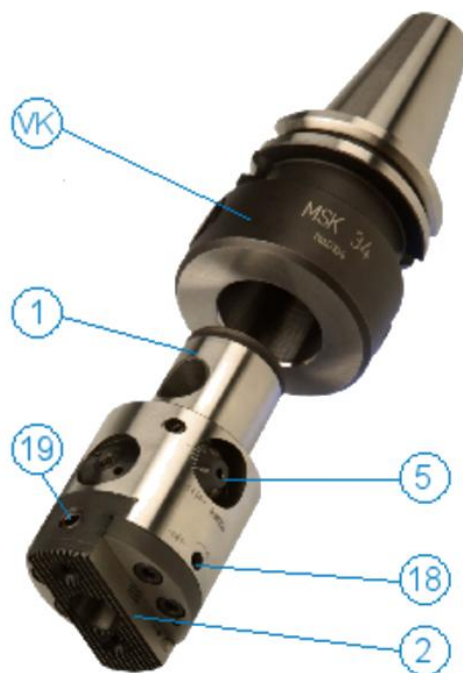
2 - sane

5 - šnek so stupnicou

18 - aretačná skrutka saní

19 - aretačná skrutka vyvrtavajúceho noža

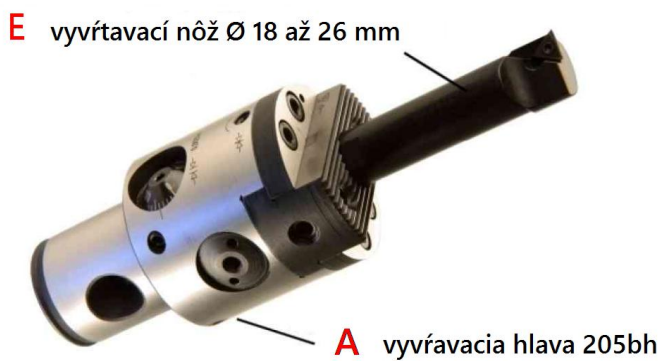
VK - vymeniteľná upínacia stopka



Obr. 11) Vyvrtavacia hlava 205bh [16]

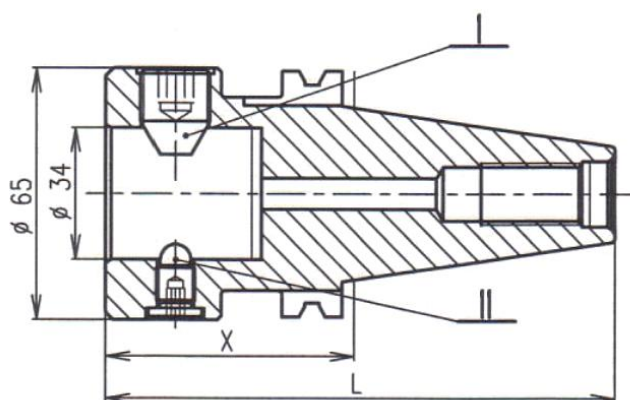


Obr. 12) Vyvrtavacie nože a držiaky [18]



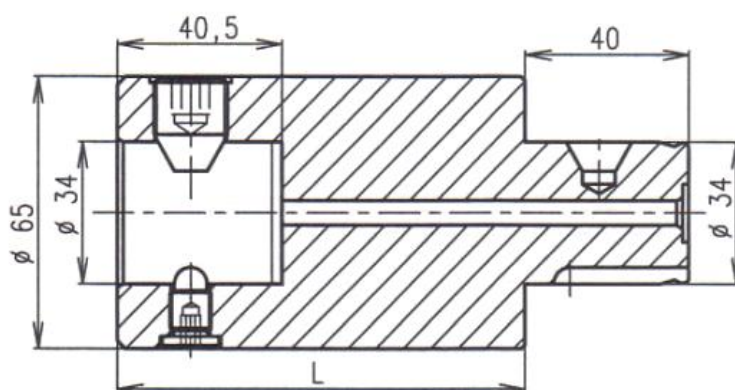
Obr. 13) Zostava: hlava + vyvrtavací nůž [6]

Hlava sa upína za valcovú stopku do držiaku (obr. 14), ktorý je súčasťou modulárneho upínacieho systému (označenie MSK 34). Upnutie zaisťuje skrutka (I) a dotahuje sa uťahovacím momentom 25 Nm. Skrutka (II) je stabilne dotiahnutá a zalepená [17].



Obr. 14) Upínacia stopka MSK 34 (MUS) [17]

Nožová výbava umožňuje vyvrtávať otvory v uvedených rozsahoch priemerov do hĺbok, ktoré určujú dĺžky uchytených nožov. Pri použití nožových jednotiek M a N je možné predĺžiť upnutie hlavy vložением predĺžovacieho člena potrebnej dĺžky (obr. 15) [17].



Obr. 15) Predĺžovací člen (L=50;100;150 mm) [17]

3.1.7 Jemné vyvrtavacie hlavy

Vyvrtavacie zostavy Liteline™ (vid' obr. 16) sú o 30-60 % ľahšie ako klasické vyvrtavacie zostavy. Vyvrtavacie hlavy sú určené predovšetkým na automatickú výmenu [19].

Hlavy Liteline™ sú vyrobené z vysokopevného hliníku. Vyrábajú sa 4 hlavy (obr. 17)a vyvrtávaný priemer je od 64 do 205 mm s presnosťou IT 5/6. Telesá sú vyrobené z vysokopevného hliníku s tvrdým povlakom, ktorý je odolný voči opotrebeniu, korózii, poškrabaniu a tak majú dlhšiu životnosť. Aby mala zostava vysokú tuhosť, tak sa vonkajšie väčšie priemery a stopky vyrábajú z ocele [19] [26].

Pomocou týchto hláv je možné vyvrtávať dlhšie otvory o väčších priemeroch na menších strojoch. Hlavy Liteline™ majú znížené horizontálne namáhanie vretena a tak dosahujú lepšiu presnosť diery [19].



Obr. 16) Vyvrtavacia zostava Liteline™ [19]



Obr. 17) Vyvrtavacie hlavy Liteline™ [20]

3.1.8 Presná vyvrtavacia hlava DigiBore

DigiBore je vyvrtavacia hlava od firmy Wohlhaupter, ide o digitálny nástroj, ktorý obsahuje automatické vyvažovanie. To mu umožňuje použitie vysokých rezných rýchlostí (max. otáčky až $16\,000\text{ min}^{-1}$) a zaisťuje vysokú kvalitu opracovania obrábaného otvoru. Vysoké otáčky sa využívajú hlavne pri vyvrtávaní malých priemerov. Minimálne vibrácie predlžujú životnosť britových doštičiek [22] [26].

Vyvrtavacia hlava DigiBore umožňuje obrábať načisto jedným nástrojom v širokom rozsahu od $\varnothing 3 - 208\text{ mm}$. Manipuláciu uľahčuje digitálny displej, maximálnu presnosť má vďaka priamemu optoelektronickému meraniu korekcie. Okrem týchto technických predností sa môže s bohatým príslušenstvom použiť na vonkajšie pretáčanie ($\varnothing 2 - 114\text{ mm}$) a axiálne zapichovanie ($\varnothing 6 - 136\text{ mm}$) [23].

Nástroj je skonštruovaný pre vnútorný prívod chladiacej kvapaliny až do tlaku 40 barov a špeciálne dimenzované kanálky umožňujú aplikáciu metódy minimálneho mazania (MMS). Na výrobu sa používajú kvalitné materiály, ktoré zaručujú vysokú životnosť nástroja. K údržbe patrí iba výmena batérie pre napájanie elektroniky [22] [23].

Vyvrtavacia hlava DigiBore môže byť uchytaná pomocou spojovacieho uzlu MVS 63-36 modulárneho systému MultiBore alebo so stopkou HSK-A63. Držiaky na nože majú novú reznú geometriu s uhlom nastavenia 92° , ktorá je výhodná pri opracovaní slepých otvorov a umožňuje obrábanie až do dna. DigiBore sa ponúka v troch základných sadách pre rozsahy: 10-32 mm, 32-68 mm a 68-150 mm [22].



Obr. 18) Vyvrtavacia hlava DIGIBORE s nástavcom [23]

3.1.9 Presná vyvrtavacia hlava Nanobore®

Vyvrtavacia hlava Nanobore® A760 01 je malý vyvrtavací nástroj pre jemné vyvrtávanie. Na trh ju uviedla firma SecoTools s.r.o. Používa sa pre vyvrtávanie veľmi malých priemerov (0,3 - 8 mm), napr. v mikromechanike, hodinárskom a leteckom priemysle [24][25].

Ide o vyvrtavaciu hlavu mimoriadne malých rozmerov (Ø25 mm, dĺžka 25 mm) s osovo upínanými vyvrtavajúcimi nožmi. Vyrobená je z korózievzdornej ocele a je vybavená upínacou stopkou Graflex a priemerom 14 mm. Maximálna nevyváženosť hlavy uvedená výrobcom je 15 g.mm a najvyššia pracovná rýchlosť 30 000 ot./min. Obrábaný otvor dosahuje drsnosti povrchu $Ra = 0,6$ [24][25].

Nastavovací mechanizmus je veľmi presný (1 dielik = 0,01 mm/Ø), umožňuje nastavenie priemeru s presnosťou 2,5 µm a zaručuje opakovateľnú presnosť nastavenia rozmeru [24][25].

Chladenie je zaistené v závislosti na použitom reznom nástroji. Pri použití nástroja s vymeniteľnými britovými doštičkami - vnútorným vedením (hlavou a nástrojom) a pri použití noža zo spekaného karbidu - vnútro hlavy a vonkajškom po noži [25].



Obr. 19) Vyvrtavacia hlava Nanobore® A760 01 [24]

3.2 Porovnanie vyvrtavacích hláv

Uvedené vyvrtavacie hlavy sú zobrazené v tab 1 a porovnané z hľadiska rozsahu vyvrtavania, presnosti nastavenia a presnosti vyvrtavanej diery.

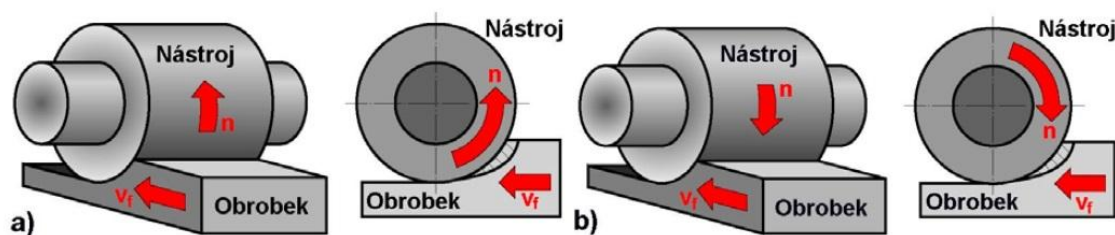
Tab 1) Vlastnosti vyvrtavacích hláv

Vyvrtavacia hlava	Rozsah vyvrtavania	Presnosť nastavenia	Presnosť diery
Vhu	Ø 6-720 mm	0,01 mm/Ø	IT 7
Vh	Ø 6-225 mm	0,02 a 0,0025 mm/Ø	IT 7
Vhs	Ø 6-180 mm	0,01 a 0,02 mm/Ø	IT 7
SVH 38 - 48	Ø 38 - 48	-	-
A750	Ø 18 - 205 mm	-	IT 9/10
205bh	Ø 6-100 mm	0,0025 mm/Ø	IT 6
Liteline TM	Ø 64 -205 mm	0,0025 mm/Ø	IT 5/6
DigiBore	Ø 3 – 208 mm	0,002 mm/Ø	-
Nanobore [®] A760 01	Ø 0,3 - 8 mm	0,01 mm/Ø	IT 4/5

4 FRÉZOVANIE

Frézovanie je obrábacia metóda, pri ktorej je materiál obrobku odoberaný britmi rotujúceho nástroja. Posuv najčastejšie koná obrobok, prevažne v smere kolmom k osi nástroja. Rezný proces je prerušovaný, každý zub frézy odrezáva krátke triesky premenlivej hrúbky. [28]

Z technologického hľadiska sa v závislosti na aplikovanom nástroji rozlišuje frézovanie čelné (frézovanie čelom nástroja, obr. 21) a frézovanie valcové (frézovanie obvodom nástroja, obr. 22). Od týchto základných spôsobov sa odvodzujú ďalšie spôsoby, ako je okružné (obr. 22) a planétové (obr. 23) frézovanie [28].



Obr. 20) Valcové frézovanie: a) nesúsledné, b) súsledné [28]

4.1 Nesúsledné frézovanie

Pri nesúslednom frézovaní (obr. 20a)) je zmysel rotácie proti smeru posuvu obrobku. Hrúbka triesky sa postupne mení z nulovej hodnoty až na maximálnu. K oddeleniu triesky nedochádza v okamžiku jej nulovej hrúbky, ale po určitom sklze britu po ploche vytvorenej predchádzajúcim zubom. Vznikajú silové účinky a deformácie, ktoré zvyšujú opotrebenie britu [32].

Výhody nesúsledného frézovania:

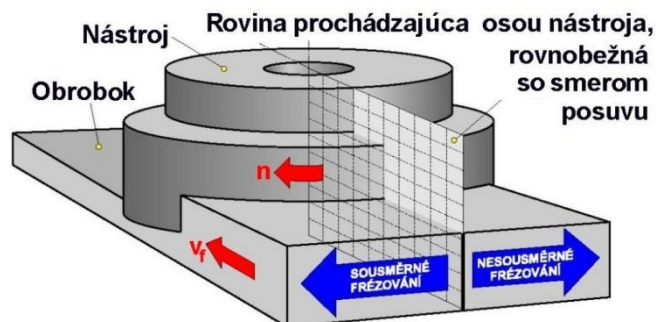
- trvanlivosť nástroja nezávisí na okovínach, pieskovom povrchu a pod.
- záber zubov frézy pri ich vrezávaní nezávisí na hĺbke rezu
- nie je potreba vymedzovať vôľu medzi posuvovou skrutkou a maticou stola stroja
- menšie opotrebovanie skrutky a matice [28]

4.2 Súsledné frézovanie

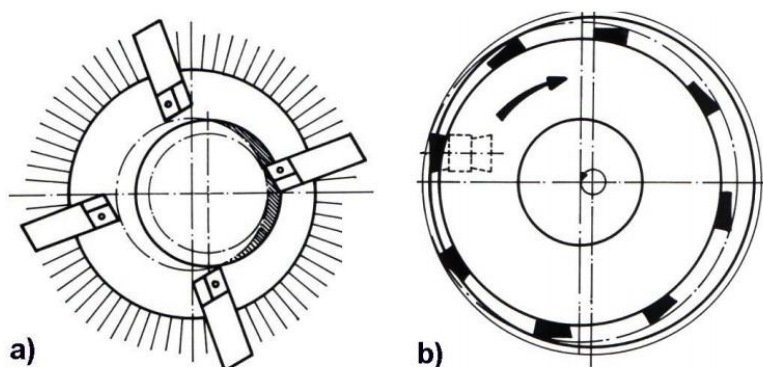
Pri súslednom frézovaní (obr. 20b)) je zmysel rotácie nástroja v smere posuvu obrobku. Maximálna hrúbka triesky vzniká pri vníkaní zubu frézy do obrobku. Obrobená plocha sa vytvára, keď zub vychádza zo záberu. Súsledné frézovanie môže prebiehať len na prispôbennom stroji pri vymedzenej vôli a predpätím medzi posuvovou skrutkou a maticou stolu frézky [28].

Výhody súsledného frézovania:

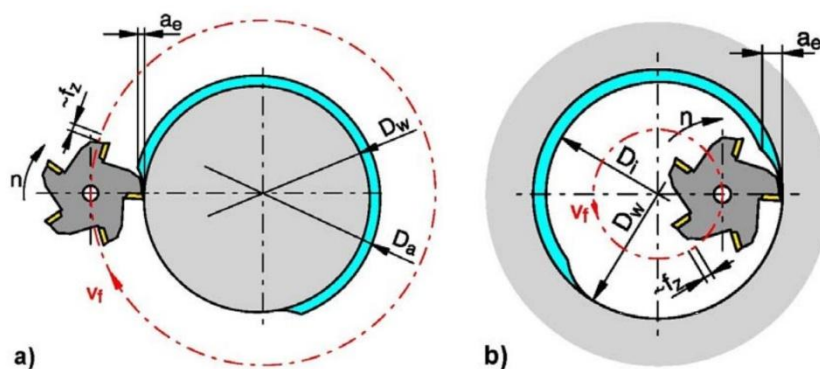
- dlhšia trvanlivosť britov
- potrebný rezný výkon je menší
- rezná sila pritlačuje obrobok k stolu
- menší sklon ku kmitaniu
- menšia drsnosť obrobeného povrchu [28]



Obr. 21) Čelné frézovanie [28]



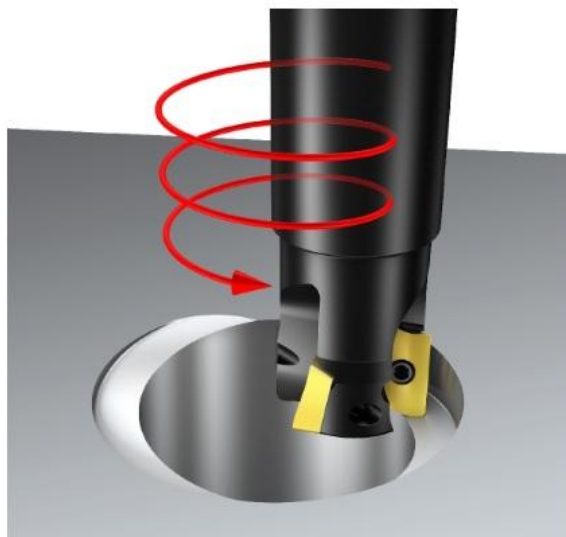
Obr. 22) Okružné frézovanie: a) vonkajšie, b) vnútorné [28]



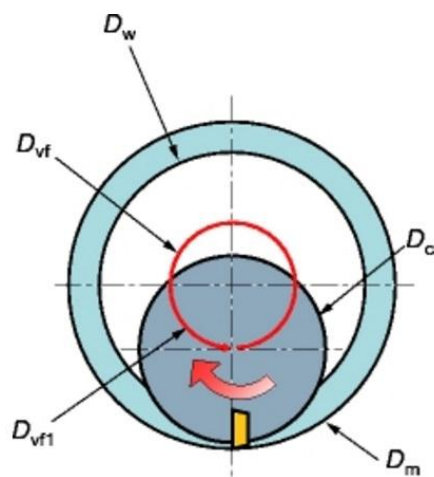
Obr. 23) Planétové frézovanie: a) vonkajšie, b) vnútorné [28]

4.3 Zväčšovanie otvoru frézovaním

Ide konkrétne o postupné zahlbovanie 3-osou kruhovou interpoláciou. Fréza je nepretržite v zábere a uhol zostupu je konštantný. Ide o postupné zahlbovanie, zaberá sa čelom aj bokmi frézy. Táto aplikácia je citlivá na vibrácie, ale dosahuje najlepšiu kruhovitosť a súososť diery [27].



Obr. 24) Postupné zahľbovanie pomocou frézy [27]



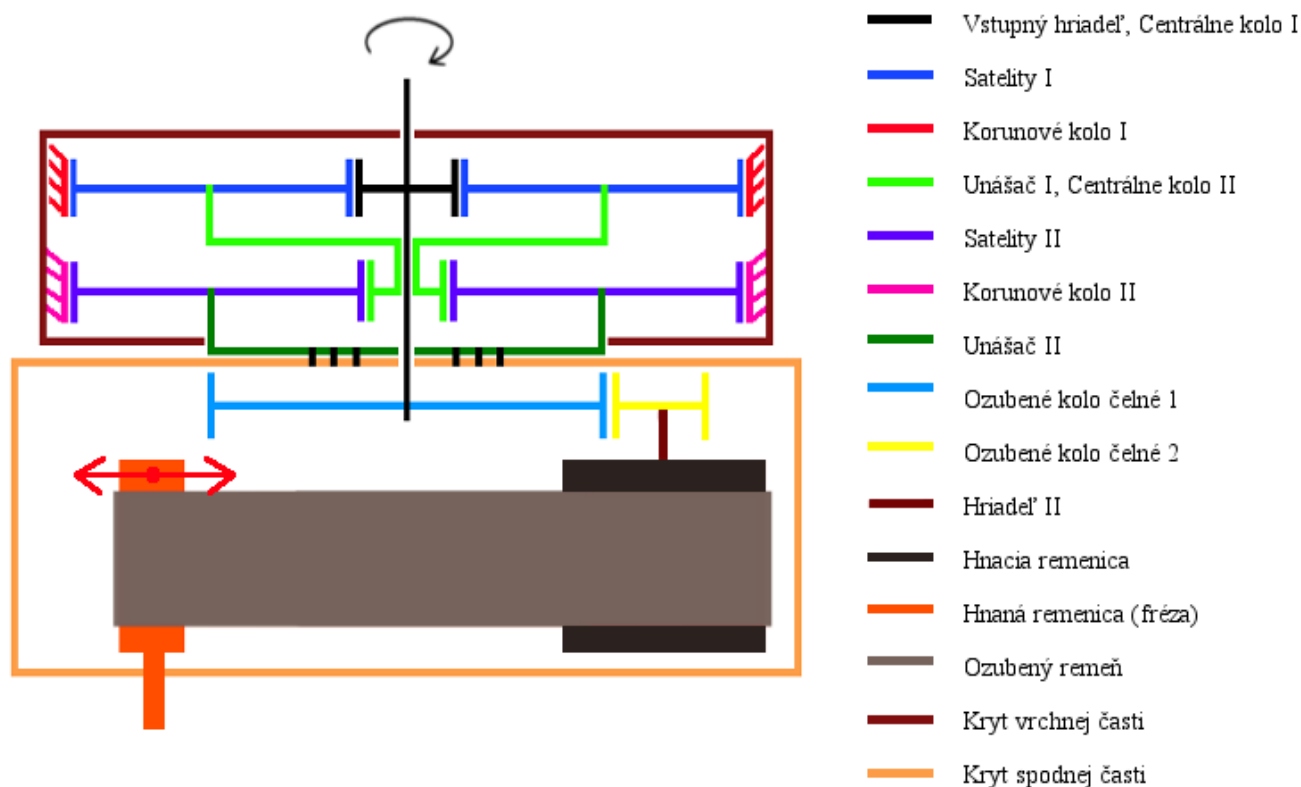
Obr. 25) Priemery pri frézovaní otvoru [27]

5 KONŠTRUKČNÝ NÁVRH VYVŘTAVACEJ HLAVY

Táto téma bakalárskej práce bola už riešená minulý rok, odkaz na ňu je v použitej literatúre. [32] Dané zadanie bolo riešené pomocou cykloidnej prevodovky a dvoch čelných ozubení. Nevýhodou tohto riešenia bola príliš vysoká cena. Preto bolo zadanie opakované s cieľom navrhnúť lacnejšie riešenie.

Pri konštrukčnom návrhu hlavy bolo treba poskladať hlavu z dvoch častí. Vo vrchnej časti sa znižujú vstupné otáčky dvojstupňovou planétovou prevodovkou. Výstup planétovej prevodovky je cez unášač, ktorý je pevne pripevnený na kryt spodnej časti, ktorou otáča. Tento pohyb predstavuje posuv frézy po kružnici (vedľajší pohyb).

Vstupná hriadeľ prechádza stredom celej planétovej prevodovky až po prvé ozubené kolo čelného prevodu v spodnej časti. V tejto časti dochádza k zvýšeniu otáčok. Najskôr v čelnom prevode a potom v prevode remeňovom. Výstup je na hnanej remenici, v ktorej je prichytené vreteno na upnutie frézy. Táto remenica sa dá posúvať a tým nastavovať priemer frézovaného otvoru. Približný náčrt vyvřtavacej hlavy je schématicky zobrazený na obrázku 26.



Obr. 26) Náčrt vyvřtavacej hlavy

5.1 Výpočet rezných podmienok pri frézovaní

Pri výpočte je nutné vychádzať z použitej vřtačky, z maximálneho priemeru frézovaného otvoru a tiež z frézy, ktorú použijeme na frézovanie. Z katalógových informácií o fréze sú určené otáčky frézy. Ďalej je určená posuvová rýchlosť a výstupné otáčky planétovej prevodovky na základe maximálneho priemeru otvoru. Výpočet je tvorený v súlade s literatúrou [29].

Výkon motoru vřtačky

$$P = 750 \text{ W}$$

Otáčky motoru vřtačky (vstupné otáčky)

$$n_1 = 140 \text{ min}^{-1}$$

Maximálny priemer frézovaného otvoru

$$D_{max} = 200 \text{ mm}$$

Parametre frézy [31]

Priemer frézy

$$D_f = 16 \text{ mm}$$

Počet zubov frézy

$$z = 4$$

Rezná rýchlosť

$$v_c = 100 \div 150 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Pre frézovanie otvoru je volená $v_c = 144,85 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Posuv na zub

$$f_z = 0,06 \div 0,18 \text{ mm (Záleží na materiáli)}$$

Pre frézovanie maximálneho priemeru otvoru je volený posuv na zub $f_z = 0,1049 \text{ mm}$

Otáčky frézy

$$n_f = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_f} = \frac{141,16 \cdot 1000}{\pi \cdot 16} = \underline{2881,76 \text{ min}^{-1}} \quad (1)$$

Posuvová rýchlosť

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n = 0,1049 \cdot 4 \cdot 2881,7 = \underline{1209,19 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}} \quad (2)$$

Maximálna hodnota obvodu frézovaného otvoru

$$O = 2 \cdot \pi \cdot r = 2 \cdot \pi \cdot 100 = \underline{628,32 \text{ mm}} \quad (3)$$

Čas jednej otáčky frézy po kružnici s priemerom 200 mm

$$t = \frac{O}{v_f} = \frac{628,32}{1209,19} = \underline{0,5196 \text{ min}} \quad (4)$$

Počet otáčok za minútu (frézy po kružnici)

$$n = \frac{1}{t} = \frac{1}{0,5196} = \underline{1,925 \text{ ot/min}} \quad (5)$$

Hĺbka rezu

$$a_p = 1 \text{ mm}$$

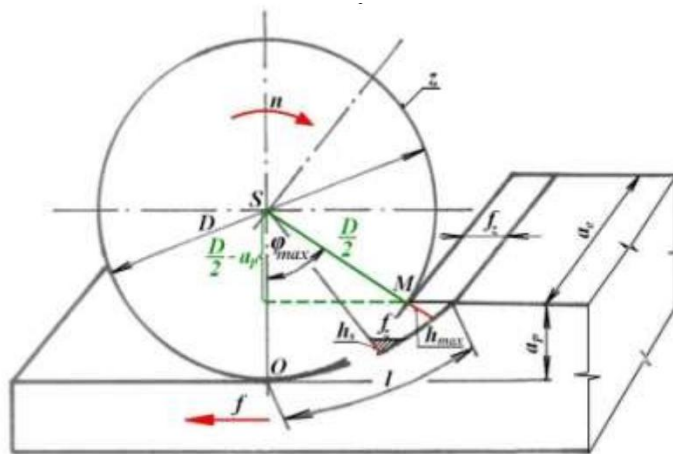
Pracovní záber

$$a_e = 10 \text{ mm}$$

Merný rezný odpor

(pre oceľ triedy obrobitel'nosti 10b s posuvom na otáčku $f_n=0,4 \text{ mm}$, fréza je zo slinutých karbidov, preto treba hodnotu rezného odporu vynásobiť koeficientom 0,92) [30]

$$p = 1940 * 0,92 = \underline{1784,8 \text{ MPa}} \quad (6)$$



Obr. 27) Frézovanie valcovou frérou [29]

Z obrázku 27 môžeme určiť vzťah pre maximálny polohový uhol

$$\cos \varphi_{max} = \frac{\frac{D}{2} - a_p}{\frac{D}{2}} = \frac{8 - 1}{8} \quad (7)$$

$$\varphi_{max} = \underline{28,96^\circ}$$

Uhol medzi dvomi zubmi frézy

$$\varphi_z = \frac{360^\circ}{z} = \frac{360^\circ}{4} = \underline{90^\circ} \quad (8)$$

Počet zubov v zábere

$$z_{\check{r}} = \frac{\varphi_{max}}{\varphi_z} = \frac{29,96}{90} = \underline{0,321} \quad (9)$$

Maximálna hrúbka triesky

$$h_{max} = f_z * \sin \varphi_{max} = 0,1 * \sin 28,96 = \underline{0,0484 \text{ mm}} \quad (10)$$

Maximálna sila na jeden zub

$$F_{z,max} = h_{max} * a_e * p = 0,0484 * 10 * 1784,8 = \underline{863,84 \text{ N}} \quad (11)$$

Stredná hodnota reznej sily

$$F_{z,s} = \frac{h_{max}}{2} * a_e * p = \frac{0,0484}{2} * 10 * 1784,8 = \underline{431,92 \text{ N}} \quad (12)$$

Celková rezná sila

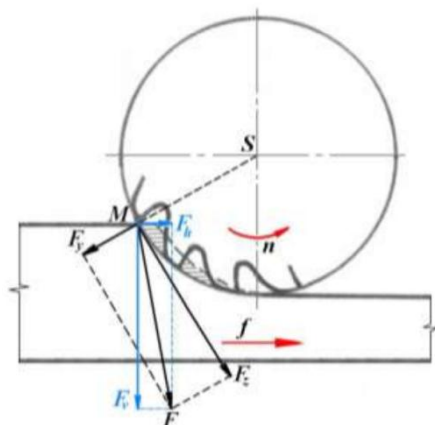
$$F_z = F_{z,s} * z_{\check{r}} = 431,92 * 0,321 = \underline{138,65 \text{ N}} \quad (13)$$

Užitočný výkon

$$P_{už} = \frac{F_z \cdot v_c}{60} = \frac{138,65 \cdot 141,16}{60} = \underline{326,2 \text{ W}} \quad (14)$$

Príkon elektromotoru

$$P_e = \frac{P_{už}}{\eta} = \frac{326,2}{0,7} = \underline{466 \text{ W}} \quad (15)$$



Obr. 28) Rozklad reznej sily pri frézovaní 29]

Na obr. 28 je vidieť, že F_h (horizontálna zložka reznej sily) je menšia ako F_z . Sila F_h bude pôsobiť ako brzdná sila.

$$F_h = 100 \text{ N}$$

Jedná sa o posuvovú silu, ktorá pohybuje frézou po kružnici.

Potrebný výkon na otočenie spodnej časti hlavy

$$P_o = \frac{F_h \cdot v_f}{60} = \frac{100 \cdot 1,209}{60} = \underline{2 \text{ W}} \quad (16)$$

Z bezpečnostného hľadiska budeme počítať s výkonom 10 W.

5.2 Výpočet planétovej prevodovky

Planétová prevodovka je navrhnutá pre dosiahnutie maximálneho prevodového pomeru, preto je vstup na centrálnom kole a výstup je na unášači. Korunové kolo je zabrzdené.

5.2.1 Výpočet základných rozmerov prvého planétového prevodu

Počet zubov centrálneho kola

$$z_1 = 17$$

Počet zubov satelitov

$$z_2 = 64$$

Počet zubov korunového kola

$$z_3 = -145$$

Výstupný prevodový pomer

$$i_{14} = \frac{2 \cdot (z_1 + z_2)}{z_1} = \frac{2 \cdot (17 + 64)}{17} = \underline{9,529} \quad (17)$$

Výstupné otáčky

$$n_4 = \frac{n_1}{i_{14}} = \frac{140}{9,529} = \underline{14,69 \text{ min}^{-1}} \quad (18)$$

Otáčky satelitov

$$n_2 = \frac{z_1 \cdot |z_3| \cdot n_1}{z_2 \cdot (z_1 + |z_3|)} = \frac{17 \cdot |-145| \cdot 140}{64 \cdot (17 + |-145|)} = \underline{33,285 \text{ min}^{-1}} \quad (19)$$

Počet satelitov

$$a_k = 3$$

Geometrické podmienky planétového mechanizmu

Podmienka rovnakých osových vzdialeností

$$z_1 + 2 \cdot z_2 = |z_3| \quad (20)$$

$$17 + 2 \cdot 64 = |-145|$$

$$145 = 145$$

Podmienka zmontovateľnosti

$$N_c = \frac{(z_1 + |z_3|)}{a_k} = \frac{(17 + |-145|)}{3} = \underline{54} \quad (21)$$

N_c musí byť celé číslo, takže táto podmienka platí.

Modul ozubenia (normálový)

$$m_n = 1 \text{ mm}$$

Výška päty zubu

$$h_f = 1,25 \cdot m_n = 1,25 \cdot 1 = \underline{1,25} \quad (22)$$

Výška hlavy zubu

$$h_a = m_n = 1 \text{ mm} \quad (23)$$

Výška zubu

$$h = h_a + h_f = 1 + 1,25 = \underline{2,25 \text{ mm}} \quad (24)$$

Rozostup zubov (rozteč)

$$p = \pi \cdot m_n = \pi \cdot 1 = \underline{3,1416 \text{ mm}} \quad (25)$$

Výpočet roztečných kružníc:

Centrálneho kola

$$d_1 = z_1 \cdot m_n = 17 \cdot 1 = \underline{17 \text{ mm}} \quad (26)$$

Satelitov

$$d_2 = z_2 \cdot m_n = 64 \cdot 1 = \underline{64 \text{ mm}} \quad (27)$$

Korunového kola

$$d_3 = z_3 * m_n = -145 * 1 = \underline{-145 \text{ mm}} \quad (28)$$

Výpočet pätných kružníc:

Centrálneho kola

$$d_{f1} = d_1 - 2 * h_f = 17 - 2 * 1,25 = \underline{14,5 \text{ mm}} \quad (29)$$

Satelitov

$$d_{f2} = d_2 - 2 * h_f = 64 - 2 * 1,25 = \underline{61,5 \text{ mm}} \quad (30)$$

Korunového kola

$$d_{f3} = d_3 - 2 * h_f = -145 - 2 * 1,25 = \underline{-147,5 \text{ mm}} \quad (31)$$

Výpočet hlavových kružníc:

Centrálneho kola

$$d_{a1} = d_1 + 2 * h_a = 17 + 2 * 1 = \underline{19 \text{ mm}} \quad (32)$$

Satelitov

$$d_{a2} = d_2 + 2 * h_a = 64 + 2 * 1 = \underline{66 \text{ mm}} \quad (33)$$

Korunového kola

$$d_{a3} = d_3 + 2 * h_a = -145 + 2 * 1 = \underline{-143 \text{ mm}} \quad (34)$$

Uhol profilu (záberu)

$$\alpha = 20^\circ$$

Výpočet priemeru základnej kružnice:

Centrálneho kola

$$d_{b1} = d_1 * \cos(\alpha) = 17 * \cos(20^\circ) = \underline{15,975 \text{ mm}} \quad (35)$$

Satelitov

$$d_{b2} = d_2 * \cos(\alpha) = 64 * \cos(20^\circ) = \underline{60,14 \text{ mm}} \quad (36)$$

Korunového kola

$$d_{b3} = d_3 * \cos(\alpha) = -145 * \cos(20^\circ) = \underline{-136,255 \text{ mm}} \quad (37)$$

Šírka ozubení:

Centrálneho kola

$$b_1 = 16 \text{ mm}$$

Satelitov

$$b_2 = b_1 - 2 * m_n = 16 - 2 * 1 = \underline{14 \text{ mm}} \quad (38)$$

Korunového kola

$$b_3 = b_1 = \underline{16 \text{ mm}} \quad (39)$$

Vôľa medzi satelitmi

Minimálny vôľa medzi satelitmi

$$v_{min} = 2 \text{ mm}$$

Korekcia ozubení je nulová a potom platí:

$$d_{w1} = d_1 = 17 \text{ mm} \quad (40)$$

$$d_{w2} = d_2 = 64 \text{ mm} \quad (41)$$

Uhol medzi dvomi satelitmi

$$\theta = \frac{360^\circ}{a_k} = \frac{2\pi}{3} = 2,094 \text{ rad} \quad (42)$$

Minimálny uhol medzi dvomi satelitmi

$$\theta_{min} = 2 * \arcsin\left(\frac{d_{a2} + v_{min}}{d_{w1} + d_{w2}}\right) = 2 * \arcsin\left(\frac{66+2}{17+64}\right) = 1,993 \text{ rad} \quad (43)$$

Geometrická podmienka

$$\theta > \theta_{min} \quad (44)$$

$$2,094 > 1,993$$

Výpočet osovej vzdialenosti

Osová vzdialenosť centrálného kola a satelitu

$$a_{12} = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{17+64}{2} = 40,5 \text{ mm} \quad (45)$$

Osová vzdialenosť satelitu a korunového kola

$$a_{23} = \frac{|d_3| - d_2}{2} = \frac{|-145| - 64}{2} = 40,5 \text{ mm} \quad (46)$$

5.2.2 Výpočet základných rozmerov druhého planétového prevodu

Vstupné otáčky do druhej planétovej prevodovky sa rovnajú výstupným otáčkam z prvej planétovej prevodovky.

Vstupné otáčky (otáčky unášača prvej planétovej prevodovky)

$$n_1 = 14,69 \text{ min}^{-1}$$

Počet zubov centrálného kola

$$z_1 = 22$$

Počet zubov satelitov

$$z_2 = 62$$

Počet zubov korunového kola

$$z_3 = -146$$

Výstupný prevodový pomer

$$i_{14} = \frac{2*(z_1 + z_2)}{z_1} = \frac{2*(22+62)}{17} = 7,636 \quad (47)$$

Výstupné otáčky

$$n_4 = \frac{n_1}{i_{14}} = \frac{14,69}{7,636} = \underline{1,924 \text{ min}^{-1}} \quad (48)$$

Otáčky satelitov

$$n_2 = \frac{z_1 * \frac{|z_3|}{z_2} * n_1}{z_1 + |z_3|} = \frac{22 * \frac{|-146|}{62} * 14,69}{22 + |-146|} = \underline{4,53 \text{ min}^{-1}} \quad (49)$$

Počet satelitov

$$a_k = 3$$

Geometrické podmienky planétového mechanizmu

Podmienka rovnakých osových vzdialeností

$$z_1 + 2 * z_2 = |z_3| \quad (50)$$

$$22 + 2 * 62 = |-146|$$

$$146 = 146$$

Podmienka zmontovateľnosti

$$N_c = \frac{(z_1 + |z_3|)}{a_k} = \frac{(22 + |-146|)}{3} = \underline{56} \quad (51)$$

N_c je celé číslo, takže podmienka platí.

Modul ozubenia (normálový)

$$m_n = 1 \text{ mm}$$

Výška päty zubu

$$h_f = 1,25 * m_n = 1,25 * 1 = \underline{1,25} \quad (52)$$

Výška hlavy zubu

$$h_a = m_n = \underline{1 \text{ mm}} \quad (53)$$

Výška zubu

$$h = h_a + h_f = 1 + 1,25 = \underline{2,25 \text{ mm}} \quad (54)$$

Rozostup zubov (rozteč)

$$p = \pi * m_n = \pi * 1 = \underline{3,1416 \text{ mm}} \quad (55)$$

Výpočet roztečných kružníc:

Centrálneho kola

$$d_1 = z_1 * m_n = 22 * 1 = \underline{22 \text{ mm}} \quad (56)$$

Satelitov

$$d_2 = z_2 * m_n = 62 * 1 = \underline{62 \text{ mm}} \quad (57)$$

Korunového kola

$$d_3 = z_3 * m_n = -146 * 1 = \underline{-146 \text{ mm}} \quad (58)$$

Výpočet pätných kružníc:

Centrálneho kola

$$d_{f1} = d_1 - 2 * h_f = 22 - 2 * 1,25 = \underline{19,5 \text{ mm}} \quad (59)$$

Satelitov

$$d_{f2} = d_2 - 2 * h_f = 64 - 2 * 1,25 = \underline{59,5 \text{ mm}} \quad (60)$$

Korunového kola

$$d_{f3} = d_3 - 2 * h_f = -145 - 2 * 1,25 = \underline{-148,5 \text{ mm}} \quad (61)$$

Výpočet hlavových kružníc:

Centrálneho kola

$$d_{a1} = d_1 + 2 * h_a = 17 + 2 * 1 = \underline{24 \text{ mm}} \quad (62)$$

Satelitov

$$d_{a2} = d_2 + 2 * h_a = 64 + 2 * 1 = \underline{64 \text{ mm}} \quad (63)$$

Korunového kola

$$d_{a3} = d_3 + 2 * h_a = -145 + 2 * 1 = \underline{-144 \text{ mm}} \quad (64)$$

Uhol profilu (záberu)

$$\alpha = 20^\circ$$

Výpočet priemeru základnej kružnice:

Centrálneho kola

$$d_{b1} = d_1 * \cos(\alpha) = 17 * \cos(20^\circ) = \underline{20,673 \text{ mm}} \quad (65)$$

Satelitov

$$d_{b2} = d_2 * \cos(\alpha) = 64 * \cos(20^\circ) = \underline{58,261 \text{ mm}} \quad (66)$$

Korunového kola

$$\begin{aligned} d_{b3} &= d_3 * \cos(\alpha) = -145 * \cos(20^\circ) = \\ &= \underline{-137,195 \text{ mm}} \end{aligned} \quad (67)$$

Šírka ozubenia:

Centrálneho kola

$$b_1 = 16 \text{ mm}$$

Satelitov

$$b_2 = b_1 - 2 * m_n = 16 - 2 * 1 = \underline{14 \text{ mm}} \quad (68)$$

Korunového kola

$$b_3 = b_1 = \underline{16 \text{ mm}} \quad (69)$$

Vôľa medzi satelitmi

Minimálny vôľa medzi satelitmi

$$v_{min} = 2 \text{ mm}$$

Korekcia ozubenia je nulová a potom platí:

$$d_{w1} = d_1 = 22 \text{ mm} \quad (70)$$

$$d_{w2} = d_2 = 62 \text{ mm} \quad (71)$$

Uhol medzi dvomi satelitmi

$$\theta = \frac{360^\circ}{a_k} = \frac{2 \cdot \pi}{3} = \underline{2,094 \text{ rad}} \quad (72)$$

Minimálny uhol medzi dvomi satelitmi

$$\theta_{min} = 2 * \arcsin\left(\frac{d_{a2} + v_{min}}{d_{w1} + d_{w2}}\right) = 2 * \arcsin\left(\frac{62+2}{22+62}\right) = \underline{1,808 \text{ rad}} \quad (73)$$

Geometrická podmienka

$$\theta > \theta_{min} \quad (74)$$

$$2,094 > 1,808$$

Výpočet osovej vzdialenosti

Osová vzdialenosť centrálneho kola a satelitu

$$a_{12} = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{22+62}{2} = \underline{42 \text{ mm}} \quad (75)$$

Osová vzdialenosť satelitu a korunového kola

$$a_{23} = \frac{|d_3| - d_2}{2} = \frac{|-146| - 62}{2} = \underline{42 \text{ mm}} \quad (76)$$

5.3 Výstupné otáčky

Výstupné otáčky sú dvojce, jedny sú znížené oproti otáčkam vítačky, to sú otáčky frézy po kružnici. Druhé sú otáčky frézy, ktoré sú oproti pôvodným otáčkam zvýšené.

5.3.1 Zníženie otáčok

Prvý stupeň planétovej prevodovky

$$i_1 = 9,529$$

Druhý stupeň planétovej prevodovky

$$i_2 = 7,636$$

Celkový prevodový pomer

$$i = i_1 * i_2 = 9,529 * 7,636 = \underline{72,76} \quad (77)$$

Výstupné otáčky (pohyb frézy po kružnici)

$$n_{výst} = \frac{n_1}{i} = \frac{140}{72,76} = \underline{1,924 \text{ min}^{-1}} \quad (78)$$

5.3.2 Zvýšenie otáčok

Čelné ozubenie

Počet zubov pastorku

$$z_{č1} = 83$$

Počet zubov kola

$$z_{\check{c}2} = 25$$

Prevodový pomer

$$i_{\check{c}1} = \frac{z_{\check{c}2}}{z_{\check{c}1}} = \frac{25}{83} = \underline{0,301} \quad (79)$$

Remeňový prevod

Použitý je ozubený remeň HTD-3M s počtom zubov 160 a dĺžkou 480 mm.

Počet zubov hnacej remenice

$$z_{1r} = 93$$

Počet zubov hnanej remenice

$$z_{r2} = 15$$

Prevodový pomer

$$i_{r2} = \frac{z_{r2}}{z_{r1}} = \frac{15}{93} = \underline{0,161} \quad (80)$$

Celkový prevodový pomer

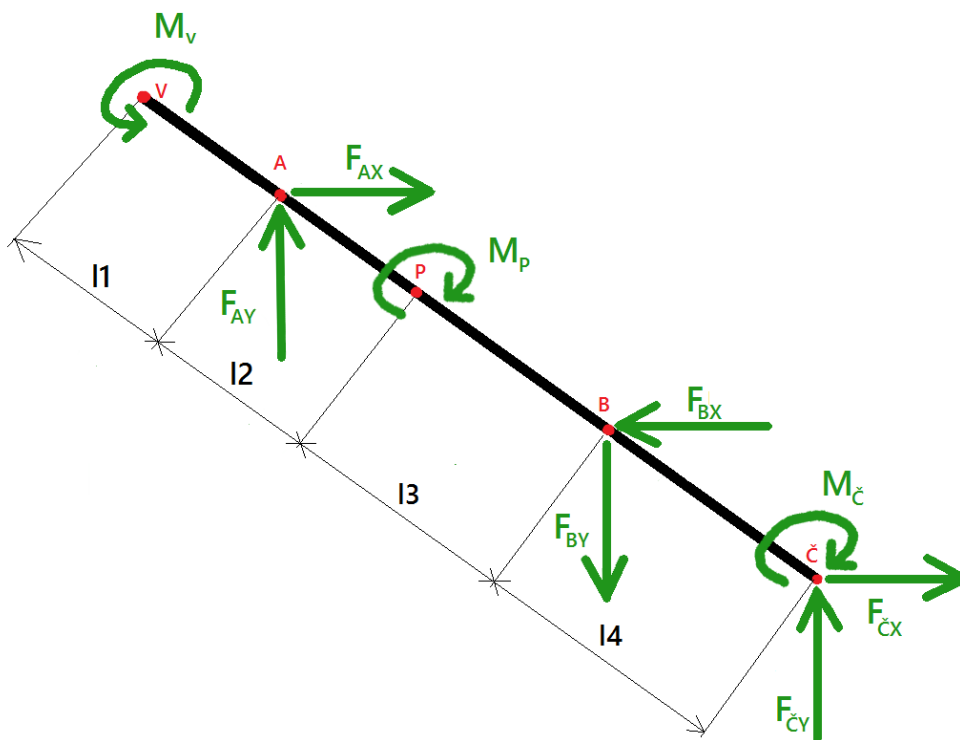
$$i_s = i_1 * i_2 = 0,301 * 0,161 = \underline{0,04858} \quad (81)$$

Výstupné otáčky (otáčky frézy)

$$n_{výst_f} = \frac{n_1}{i} = \frac{140}{0,04858} = \underline{2881,76 \text{ ot/min}} \quad (82)$$

5.4 Výpočet minimálneho priemeru hriadeľa

Najviac zaťaženy (najväčší krútiaci moment) bude vstupný hriadeľ (obr. 26), preto bude minimálny priemer počítaný pre tento hriadeľ.



Obr. 29) Úplné uvoľnenie vstupného hriadeľa

Najväčší ohybový moment podľa VVÚ (výsledných vnútorných účinkov) je v bode B zobrazenom na obr. 29. Toto miesto je najviac namáhané, preto je minimálny priemer počítaný pre toto miesto.

Čelné ozubenie

Krútiaci moment

$$M_k = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2\pi \cdot n} = \frac{380}{2\pi \cdot 2,33} = \underline{25,92 \text{ Nm}} \quad (83)$$

Obvodová sila

$$F_t = F_{\check{C}Y} = \frac{2 \cdot M_k}{d} = \frac{2 \cdot 25,92}{0,083} = \underline{624,6 \text{ N}} \quad (84)$$

Radiálna sila

$$F_r = F_{\check{C}X} = F_t \cdot \tan(\alpha) = 624,6 \cdot \tan(20^\circ) = \underline{227,3 \text{ N}} \quad (85)$$

Výsledné momenty v mieste B

Krútiaci moment

$$M_k = 25,92 \text{ Nm}$$

Ohybový moment

$$M_{ox} = F_{\check{C}Y} \cdot l_4 = 624,6 \cdot 0,0185 = \underline{11,6 \text{ Nm}} \quad (86)$$

Ohybový moment

$$M_{oy} = F_{\check{C}X} \cdot l_4 = 227,3 \cdot 0,0185 = \underline{4,2 \text{ Nm}} \quad (87)$$

Celkový ohybový moment

$$M_o = \sqrt{M_{ox}^2 + M_{oy}^2} = \sqrt{11,6^2 + 4,2^2} = \underline{12,3 \text{ Nm}} \quad (88)$$

Hriadeľ je vyrobený z materiálu ČSN 14140 s medzou klzu $R_e=530 \text{ MPa}$. Hriadeľ je tepelne spracovaný a to zušľachtený. Minimálny priemer budeme počítat' s bezpečnosťou $k_k=1,5$.

Redukované napätie pre podmienku HMH (energie napätosti)

$$\sigma_{red,HMH} = \frac{R_e}{k_k} = \frac{530}{1,5} = \underline{353,3 \text{ MPa}} \quad (89)$$

$$\sigma_{red,HMH} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_k^2} \quad (90)$$

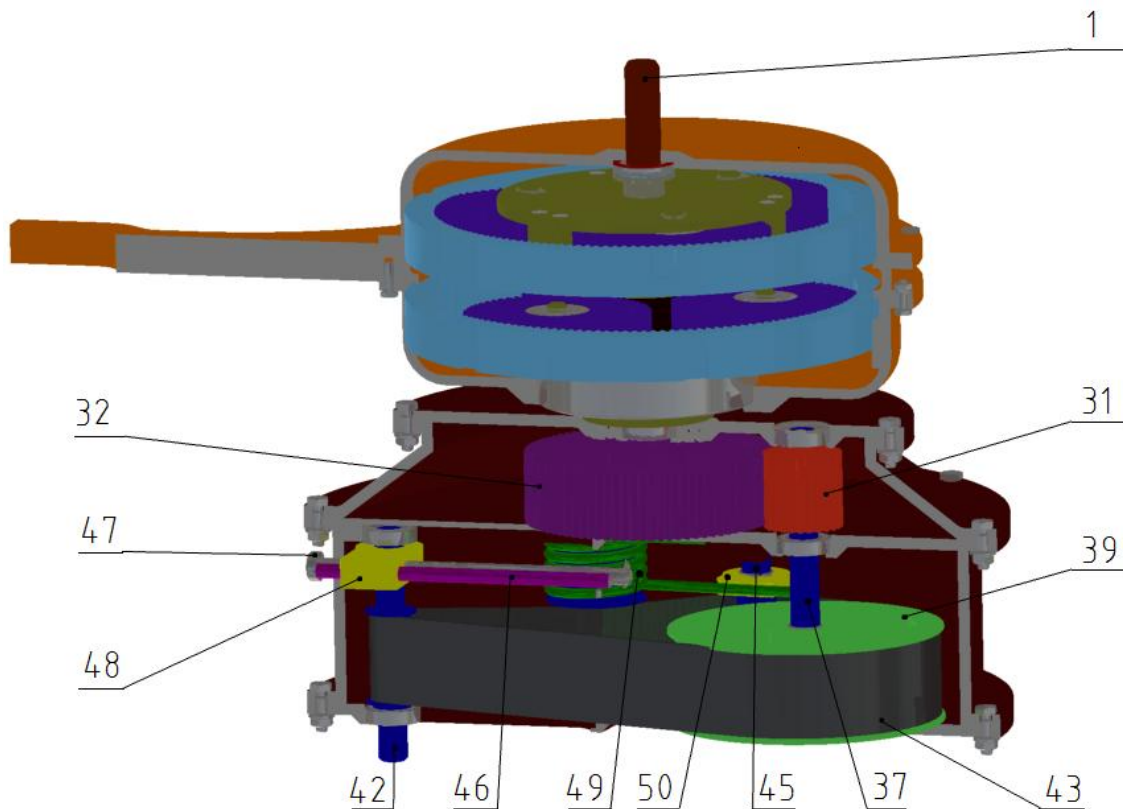
Po dosadení do rovnice (89) a vyjadrení priemeru dostávame rovnicu (90).

$$d_{min} = \sqrt[6]{\frac{1024 \cdot M_o^2 + 768 \cdot M_k^2}{\pi^2 \cdot \sigma_{red,HMH}^2}} = \sqrt[6]{\frac{1024 \cdot 12,3^2 + 768 \cdot 25,92^2}{\pi^2 \cdot 353\,300\,000^2}} = \underline{9,04 \text{ mm}} \quad (91)$$

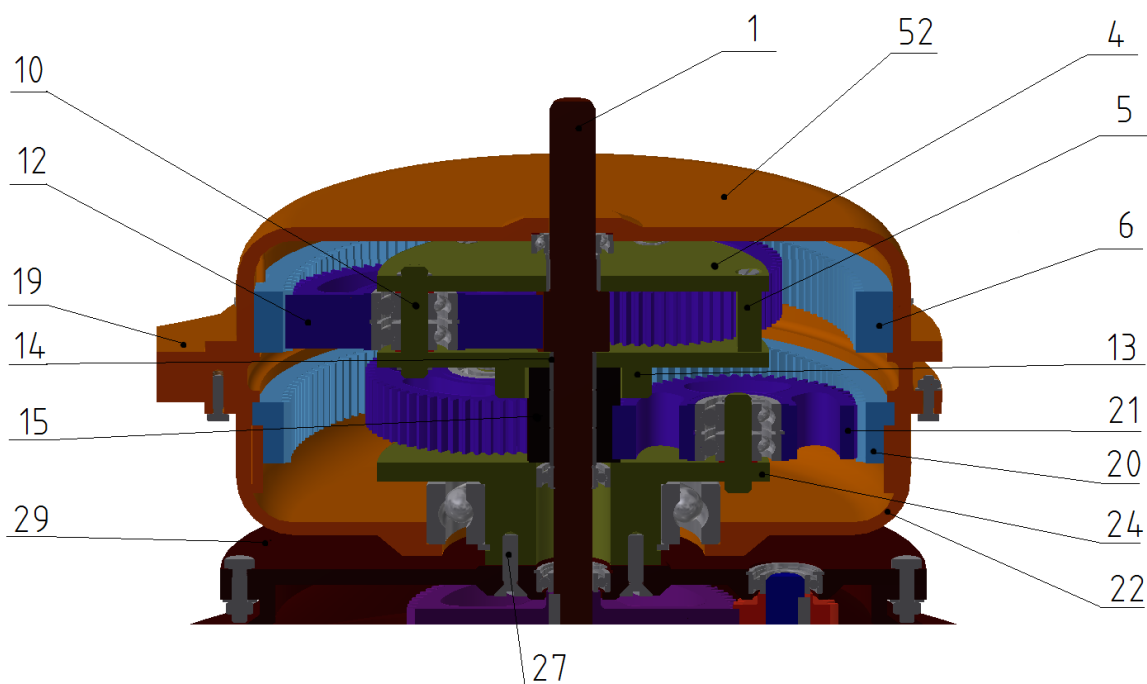
Je volený priemer hriadeľa 10 mm.

5.5 Výsledné riešenie vyvrtavacej hlavy

V tejto časti ide hlavne o vizuálne zobrazenie modelu a o opísanie fungovania vyvrtavacej hlavy. Počítačový model vyvrtavacej hlavy bol zostrojený v programe Autodesk Inventor Professional 2015.



Obr. 30) Vyvrtavacia hlava zobrazená v reze



Obr. 31) Vrchná časť VH zobrazená v reze

Model je zobrazený v rôznych pohľadoch na obrázkoch 31,32 a 33. Nižšie uvedené sa budú týkať týchto troch obrázkov.

Vstupný hriadeľ (1) je pripevnený do vretena vŕtačky. Obsahuje aj ozubené kolo, ktoré tvorí centrálné kolo prvého planétového prevodu. Ten ďalej pozostáva z troch satelitov (12), unášača a pevne prichyteného korunového kola (6) ku krytu (52). Unášač je tvorený dielmi 4, 5, 10 a 13, pričom sa na čape (10) nachádzajú guľôčkové ložiská ktoré držia satelity. Výstup z prvého planétového prevodu je cez unášač, konkrétne cez diel 13, ktorý obsahuje vnútorné ozubenie.

Centrálné kolo druhého planétového prevodu (15) má rovnaký počet zubov a modul ozubenia ako prvý unášač a je doň zasunuté. Centrálné kolo má nižšie otáčky ako vstupný hriadeľ (1) a tak sú oddelené klznými ložiskami (14). Do druhého planétového prevodu patria tiež tri satelity (21), korunové kolo (20) a unášač (24). Aj toto korunové kolo je pevne prichytené ku krytu (22). Kryt vrchnej časti zložený z krytov 52, 19 a 22 je zaistený proti otáčaniu krytom 19, ktorý je prichytený k vŕtačke.

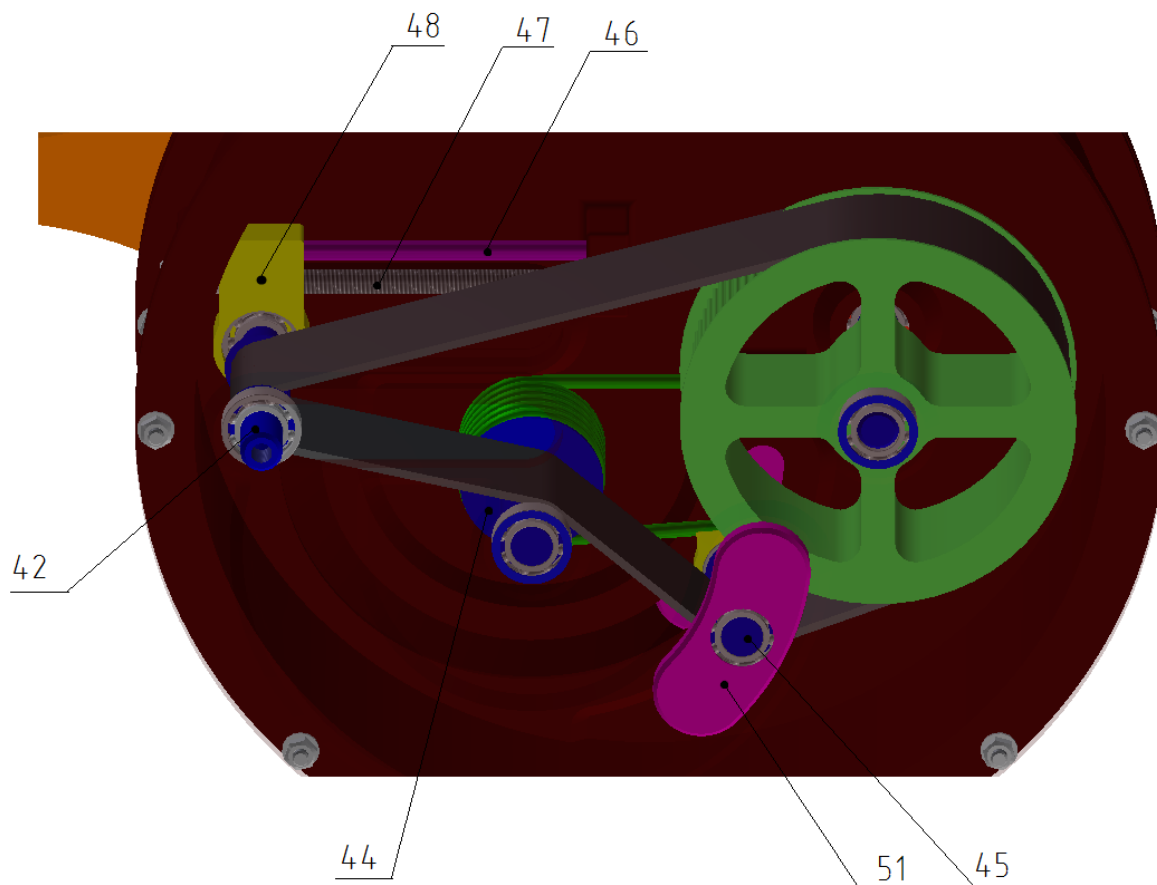
Kryt spodnej časti, presnejšie víko (29) je spojené s unášačom (24) šiestimi šróbmi s kužeľovou hlavou (27).

Zo vstupného hriadeľa (1) je prenášaný moment na pastorek (32) pomocou pera. V čelnom ozubení dochádza k zrýchleniu o táčok. Ozubené kolo (31) je spojené s hnacou remenicou hriadeľom (37) a sú zaistené proti otáčaniu perami.

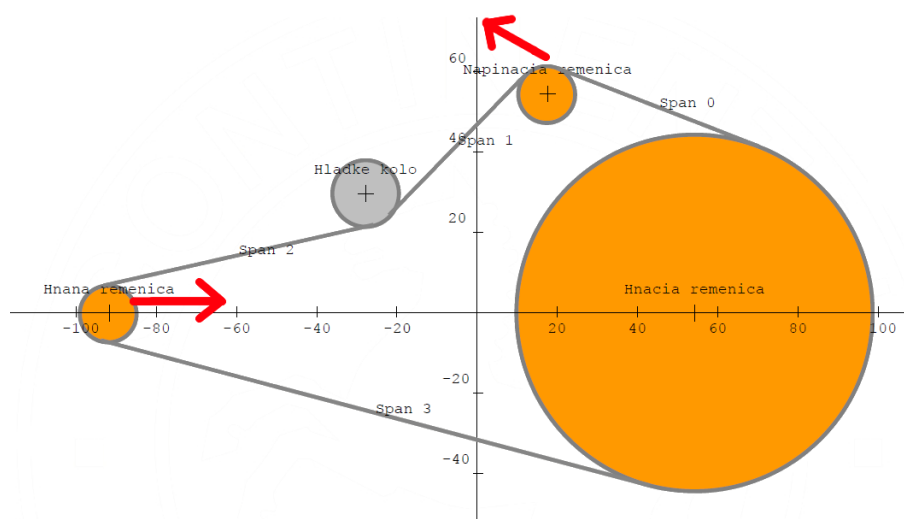
K zrýchleniu otáčok dochádza aj v prevode ozubeným remeňom. Hnaná remenica (42) je vložená do púzdra (48), v ktorom sú dve diery, pre vodiacu tyč (46) a pohybový šrób (47). Pomocou pohybového šróbu sa nastavuje frézovaný priemer. Na obr. 32 je zobrazený maximálny frézovaný priemer a to 200 mm. K napínaniu remeňa (43) slúži napínacia remenica (45) ktorá je tlačaná skrutnou pružinou (49). Napínacia remenica sa môže pohybovať po kružnici a je vložená do dvoch posuvných púzdier (51), v ktorých sú guľôčkové ložiská.

Pri zmenšovaní frézovaného otvoru je doporučené frézovať minimálny otvor s priemerom 120 mm. Pri frézovaní otvorov s menším priemerom by nesedeli rezné podmienky, konkrétne posuv na zub f_z . Pre frézovanie menších otvorov je nutné vymeniť hnaciu remenicu (prípadne aj ozubený remeň) za menšiu a úmerne zvýšiť vstupné otáčky, aby sa nezmenila rezná rýchlosť a nedošlo k nedodržaniu rezných podmienok.

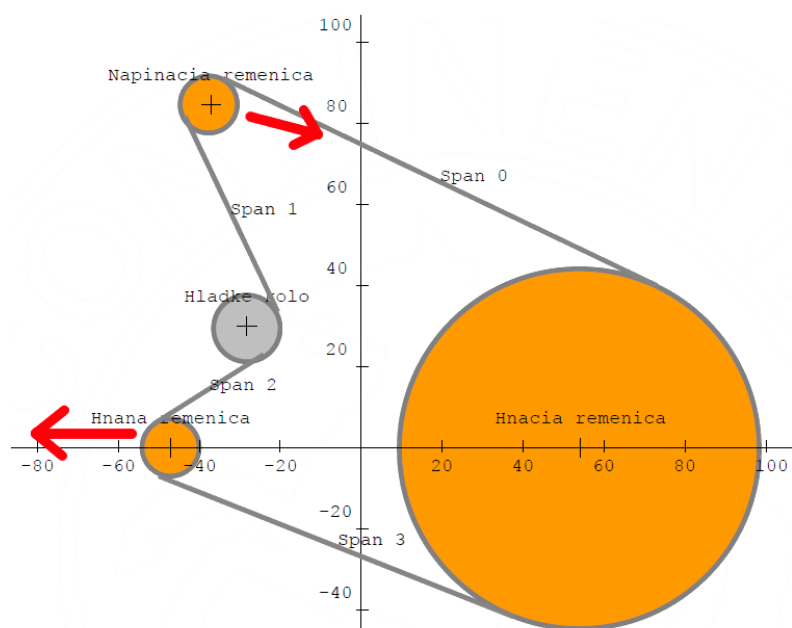
Na obr. 33 a 34 je zobrazené usporiadanie remení pre priemery 200 mm a 120 mm, ktoré bolo zhotovené v programe ContiTech Suite 7.4.



Obr. 32) Detail spodnej časti po odstránení spodného víka



Obr. 33) Maximálny priemer frézovaného otvoru



Obr. 34) Minimálny priemer frézovaného otvoru

6 ZÁVER

Témou bakalárskej práce boli vyvŕtavacie hlavy dostupné na trhu a návrh vyvŕtavacej hlavy.

Vlastnosti hláv dostupných na trhu boli detailne popísané v rešeršnej časti. Jednalo sa hlavne o rozsah vyvŕtavania, presnosť nastavenia, výslednú presnosť obrábaného otvoru, ktoré sú spracované v tabuľke 1. Prvá vyvŕtavacia hlava má najdetailnejšie opísaný princíp fungovania, princíp fungovania ďalších hláv je veľmi podobný. Hlavnou výhodou používania je možnosť nastavenia ľubovoľného priemeru vyvŕtavaného otvoru na rozdiel od výhružníkov či výstružníkov.

V praktickej časti išlo o návrh vyvŕtavacej hlavy s excentricky uloženým vretenom, ktoré bude pohybom po kružnici frézovať otvor. Ide o nástroj, ktorý rozšíri možnosti jednoduchej stojanovej vŕtačky. Navrhnutá hlava je vhodná pre kusovú výrobu. Hlava pozostáva z dvoch častí, z vrchnej časti, kde dochádza k spomaleniu otáčok a zo spodnej časti, kde dochádza k zrýchleniu otáčok.

Vrchná časť sa skladá z dvojstupňovej planétovej prevodovky so vstupom na na centrálnom kole a výstupom na unášači, so zabrzdeným korunovým kolom pre dosiahnutie maximálneho prevodového pomeru. Výstupné otáčky sú približne $1,9 \text{ min}^{-1}$ a predstavujú vedľajší pohyb, teda pohyb frézy po kružnici. Na výpočet bezpečnosti v dotyku a ohybe bol použitý program MITCalc a výsledky sú zobrazené v prílohe.

V spodnej časti sa nachádza čelné ozubenie a prevod ozubeným remeňom, oba do rýchla. Otáčky hnanej remenice, teda otáčky frézy sú približne 2882 min^{-1} . Frézovaný priemer je možné nastavovať pomocou pohybového šróbu a rozsah frézovaného otvoru je 120 až 200 mm. Tento prevod pozostáva zo 4 remeníc, z ktorých je jedna napínacia, ktorá je tlačaná skrutnou pružinou a napína remeň. Výhodu tohto riešenia je možnosť výmeny hnacej remenice, prípadne remeňa a frézovať aj menšie otvory. Výpočet remeňového prevodu je zhotovený v programe ContiTech Suite a zobrazený v prílohe pre okrajové priemery frézovaného otvoru.

Návrhová časť obsahuje tiež výpočet základných rozmerov ozubených kôl planétovej prevodovky, výpočet rezných podmienok pri frézovaní a výpočet minimálneho priemeru hriadeľa.

Daná problematika už bola riešená minulý rok. Tento návrh sa líši použitím dvojstupňovej planétovej prevodovky, miesto kupovanej drahej cykloidnej prevodovky, čím sa podstatne znižuje výrobná cena. Hlavnou výhodou vyvŕtavacej hlavy je veľký rozsah priemerov frézovaného otvoru a presné nastavenie priemeru pomocou pohybového šróbu. V spomenutej práci bolo nastavenie frézovaného otvoru pomocou vychýlenia, ktoré nie je dostatočne presné. Frézovaním otvoru sa dosahuje vynikajúca kruhovitosť otvoru.

Medzi vreteno vŕtačky a vstupný hriadeľ hlavy odporúčam použiť poistnú (prešmykovaciu) spojku. Ide o bezpečnostné riešenie, keby sa náhodou fréza zasekne, aby nedošlo k jej poškodeniu, alebo ešte horšie k zraneniu obsluhy.

7 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] HUMÁR, A. Technologie I - Technologie obrábění - 2. část. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT-FSI v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie obrábění. 2004. 94 stran. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
- [2] KOČMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [3] STROJÁRSKA VÝROBA. STROJÁRSKA VÝROBA [online]. Považská Bystrica: IMC Slovakia, 2017 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://www.imcslovakia.sk/strojarska-vyroba/vyvrtavanie%09/>
- [4] STRÁNSKÝ, M., Moderní nástroje pro vyvrtávání. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojírenského inženýrství, 2012. 38 s. Vedoucí práce doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.
- [5] NAREX MTE® s.r.o. [online]. Praha, 2016 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: http://www.narexmte.cz/usnadneni/TO_vyvrtavani.pdf
- [6] NAREX MTE® s.r.o. [online]. Praha, 2016 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: http://www.narexmte.cz/prospekty/In_Boring_Tools.pdf
- [7] Intool AG [online]. Steinhausen, 2017 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: http://www.intool.ch/katalog/UPA_d.pdf
- [8] BOS HK a.s. [online]. Steinhausen: © Copyright 2007-2011 BOS HK, 2011 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.bos-teplice.cz/dokumenty/Vhu-navod.pdf>
- [9] NAREX MTE® s.r.o [online]. Praha, 2016 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: http://www.narexmte.cz/image_text/01AA_Vhu/t_vhu_nd.png
- [10] NAREX MTE® s.r.o [online]. Praha, 2016 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: http://www.narexmte.cz/system/czMTE_vcc2C3_02A.htm
- [11] NAREX MTE® s.r.o [online]. Praha, 2016 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: http://www.narexmte.cz/system/czMTE_vcc2C3_01AD.htm
- [12] NAREX MTE® s.r.o [online]. Praha, 2016 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: http://www.narexmte.cz/prospekty/In_Vhs_Vh.pdf
- [13] NAREX MTE® s.r.o [online]. Praha, 2016 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: http://www.narexmte.cz/system/czMTE_vcc2C3_01AC.htm
- [14] Prima Dílna [online]. Praha: Copyright TrueTech, 2017 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: https://www.primadilna.cz/KONTAKTY-a2_0.htm
- [15] Seco Tools [online]. Trnava: Copyright © Seco Tools, 2017 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/sk/Global/Products/Holemaking/Boring/Rough-boring-heads/>
- [16] NAREX MTE® s.r.o [online]. Praha, 2016 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: http://www.narexmte.cz/system/czMTE_vcc1C3_04.htm
- [17] NAREX MTE® s.r.o [online]. Praha, 2016 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: http://www.narexmte.cz/servis/205bh_navod_CZ_ISO.pdf
- [18] NAREX MTE® s.r.o [online]. Praha, 2016 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: http://www.narexmte.cz/image_text/01AB_205bh/205bh_noze_WOH.jpg
- [19] Seco Tools [online]. Trnava: Copyright © Seco Tools, 2017 [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/sk/Global/Products/Holemaking/Boring/Liteline/>

- [20] Direct Industry: Seco Tools [online]. 2017 [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/seco-tools/product-5699-764575.html>
- [21] Wohlhaupter GmbH [online]. Frickenhausen, 2012 [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: http://www.wohlhaupter.com/products/modular_multibore_boring_system/boring_tools_for_finish_machining/precision_boring_tools_501_digibore_oe_3_208_mm/501001-1/
- [22] MM Průmyslové spektrum [online]. Praha, 2017 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/presna-vyvtavaci-hlava.html>
- [23] VarioTool [online]. Plzeň, 2017 [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: http://www.varioutil.cz/ckfinder/userfiles/files/Wohlhaupter_p%C5%99ehled_CZ.pdf
- [24] Seco Tools [online]. Trnava: Copyright © Seco Tools, 2017 [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.secotools.com/cs/Global/Products/Holemaking/Boring/AxiaBore-fine-boring-heads/NanoBore/>
- [25] MM Průmyslové spektrum [online]. Praha, 2017 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nove-rezne-nastroje-pro-vyrobu-2-cast.html>
- [26] Seco Tools [online]. Trnava: Copyright © Seco Tools, 2017 [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: https://www.secotools.com/CorpWeb/Downloads/seconews2_2011/MN/tooling/Tooling%202012_CZ_LR.pdf
- [27] Sandvik Slovakia [online]. Bratislava, 2017 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/holes_and_cavities/widening_a_hole
- [28] HUMÁR, A. Technologie I – Technologie obrábění – 1. část. Interaktivní multimediální text pro magisterskou formu studia. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2004. [online]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [29] TECHNOLOGIE STROJE A ZAŘÍZENÍ [online]. 2012 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://techstroj.g6.cz/T/T16.pdf>
- [30] Technologie III - OBRÁBĚNÍ: NAVRHOVÁNÍ HOSPODÁRNÝCH ŘEZNÝCH PODMÍNEK PŘI OBRÁBĚNÍ [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_nhrp.pdf
- [31] Navel: Katalog Řezných Násrojů [online]. Velešín, 2014 [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: [http://www.navel.cz/docs/Katalog+cen%C3%ADk-2013-2014/Tvrdokovov%C3%A9-fr%C3%A9zy-katalog%20\(2013\).pdf](http://www.navel.cz/docs/Katalog+cen%C3%ADk-2013-2014/Tvrdokovov%C3%A9-fr%C3%A9zy-katalog%20(2013).pdf)
- [32] SUDA, M. *Vyvtávací hlava na vrtačku*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2016, 59 s., Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Kočiš.

8 ZOZNAM ZKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK

8.1 Zoznam skratiek

$\sigma_{red,HMH}$	Redukované napätie pre podmienku HMH (energie napätosti)	[MPa]
a_{12}	Osová vzdialenosť centrálného kola a satelitu	[mm]
a_{23}	Osová vzdialenosť satelitu a korunového kola	[mm]
a_e	Pracovný záber	[mm]
a_k	Počet satelitov	[-]
a_p	Hĺbka rezu	[mm]
b_1	Šírka ozubení centrálného kola	[mm]
b_2	Šírka ozubení satelitu	[mm]
b_3	Šírka ozubení korunového kola	[mm]
d_1	Roztečná kružnica centrálného kola	[mm]
d_2	Roztečná kružnica satelitu	[mm]
d_3	Roztečná kružnica korunového kola	[mm]
d_{a1}	Hlavová kružnica centrálného kola	[mm]
d_{a2}	Hlavová kružnica satelitu	[mm]
d_{a3}	Hlavová kružnica korunového kola	[mm]
d_{b1}	Základná kružnica centrálného kola	[mm]
d_{b2}	Základná kružnica satelitu	[mm]
d_{b3}	Základná kružnica korunového kola	[mm]
D_f	Priemer frézy	[mm]
d_{f1}	Pätná kružnica centrálného kola	[mm]
d_{f2}	Pätná kružnica satelitu	[mm]
d_{f3}	Pätná kružnica korunového kola	[mm]
D_{max}	Maximálny priemer frézovaného otvoru	[mm]
d_{min}	Minimálny priemer hriadeľa	[mm]
d_{w1}	Priemer valivej kružnice centrálného kola	[mm]
d_{w2}	Priemer valivej kružnice satelitu	[mm]
F_h	Horizontálna zložka reznej sily	[N]
f_n	Posuv na otáčku	[mm]
F_r	Radiálna sila	[N]
F_t	Obvodová sila	[N]
f_z	Posuv na zub	[mm]
F_z	Celková rezná sila	[N]

$F_{z,max}$	Maximálna sila na jeden zub	[N]
$F_{z,s}$	Stredná hodnota reznej sily	[N]
h	Výška zubu	[mm]
h_a	Výška hlavy zubu	[mm]
h_f	Výška päty zubu	[mm]
h_{max}	Maximálna hrúbka triesky	[mm]
i	Celkový prevodový pomer planétovej prevodovky	[-]
i_1	Prevodový pomer prvého stupňa planétovej prevodovky	[-]
i_{14}	Výstupný prevodový pomer	[-]
i_2	Prevodový pomer druhého stupňa planétovej prevodovky	[-]
$i_{\xi 1}$	Prevodový pomer v čelnom ozubení	[-]
i_{r2}	Prevodový pomer v remeniciach	[-]
i_s	Celkový prevodový pomer spodnej časti	[-]
k_k	Koeficient bezpečnosti	[-]
M_k	Krútiaci moment	[Nm]
m_n	Modul ozubení (normálový)	[mm]
M_o	Celkový ohybový moment	[Nm]
M_{ox}	Ohybový moment k osi x	[Nm]
M_{oy}	Ohybový moment k osi y	[Nm]
n	Otáčky	[min ⁻¹]
n_1	Vstupné otáčky (otáčky centrálného kola)	[min ⁻¹]
n_2	Otáčky satelitu	[min ⁻¹]
n_4	Výstupné otáčky	[min ⁻¹]
$n_{výst}$	Výstupné otáčky z planétovej prevodovky	[min ⁻¹]
$n_{výst_f}$	Výstupné otáčky (otáčky frézy)	[min ⁻¹]
O	Obvod	[mm]
P	Výkon	[W]
p	Merný rezný odpor	[MPa]
p	Rozstup zubov (rozteč)	[mm]
P_e	Príkon elektromotoru	[W]
$P_{už}$	Užitočný výkon	[W]
R_e	Medz klzu	[MPa]
t	Čas	[s]
v_c	Rezná rýchlosť	[m.min ⁻¹]
v_f	Posuvová rýchlosť	[mm.min ⁻¹]
v_{min}	Minimálna vôľa medzi satelitmi	[mm]
z_1	Počet zubov centrálného kola	[-]
z_2	Počet zubov satelitu	[-]

z_3	Počet zubov korunového kola	[-]
$z_{\varepsilon 1}$	Počet zubov pastorku	[-]
$z_{\varepsilon 2}$	Počet zubov kola	[-]
z_f	Počet zubov frézy	[-]
z_{r1}	Počet zubov hnacej remenice	[-]
z_{r2}	Počet zubov hnanej remenice	[-]
z_f	Počet zubov v zábere	[-]
α	Uhol profilu (záberu)	[°]
θ	Uhol medzi dvomi satelitmi	[°]
θ_{\min}	Minimálny uhol medzi dvomi satelitmi	[°]
σ_o	Normálové napätie od ohybu	[MPa]
τ_k	Šmykové napätie od krutu	[MPa]
φ_{\max}	Maximálny polohový uhol pri frézovaní	[°]
φ_z	Uhol medzi dvoma zubmi frézy	[°]
ω	Uhlová rýchlosť	[rad.s ⁻¹]

8.2 Zoznam tabuliek

TAB 1) VLASTNOSTI VYVŘTAVACÍCH HLÁV.....	29
--	----

8.3 Zoznam obrázkov

OBR. 1) PRÍKLADY PLÔCH OBRÁBANÝCH VYVŘTAVANÍM [1]	16
OBR. 2) POSUV NÁSTROJA A) POZDĹŽNY B) PRIEČNY C) POZDĹŽNY A PRIEČNY [4]	17
OBR. 3) VYBOČENIE VRTÁKU [5].....	18
OBR. 4) OPRAVA POLOHY OTVORU [5].....	18
OBR. 5) DETAIL SPODNEJ ČASTI VHU [9].....	20
OBR. 6) VHU FIRMY NAREX MTE S.R.O. [6].....	20
OBR. 7) VH FIRMY NAREX MTE S.R.O. [11]	21
OBR. 8) VHS FIRMY NAREX MTE S.R.O. [13]	22
OBR. 9) SVH 38 - 48: A) MIN. PRIEMER, B) MAX. PRIEMER [14].....	23
OBR. 10) HRUBOVACIA HLAVA A750 50 [15]	23
OBR. 11) VYVŘTAVACIA HLAVA 205BH [16].....	24
OBR. 12) VYVŘTAVACIE NOŽE A DRŽIAKY [18]	25
OBR. 13) ZOSTAVA: HLAVA + VYVŘTAVACÍ NÔŽ [6].....	25
OBR. 14) UPÍNACIA STOPKA MSK 34 (MUS) [17]	25
OBR. 15) PREDLŽOVACÍ ČLEN (L=50;100;150 MM) [17]	26

OBR. 16) VYVŔTAVACIA ZOSTAVA LITELINE™ [19]	26
OBR. 17) VYVŔTAVACIE HLAVY LITELINE™ [20].....	27
OBR. 18) VYVŔTAVACIA HLAVA DIGIBORE S NÁSTAVCOM [23]	27
OBR. 19) VYVŔTAVACIA HLAVA NANOBORÉ® A760 01 [24]	28
OBR. 20) VALCOVÉ FRÉZOVANIE: A) NESÚSLEDNÉ, B) SÚSLEDNÉ [28]...	30
OBR. 21) ČELNÉ FRÉZOVANIE [28]	31
OBR. 22) OKRUŽNÉ FRÉZOVANIE: A) VONKAJŠIE, B) VNÚTORNÉ [28]	31
OBR. 23) PLANÉTOVÉ FRÉZOVANIE: A) VONKAJŠIE, B) VNÚTORNÉ [28]	31
OBR. 24) POSTUPNÉ ZAHLBOVANIE POMOCOU FRÉZY [27]	32
OBR. 25) PRIEMERY PRI FRÉZOVANÍ OTVORU [27]	32
OBR. 26) NÁČRT VYVŔTAVACEJ HLAVY	33
OBR. 27) FRÉZOVANIE VALCOVOU FRÉZOU [29]	35
OBR. 28) ROZKLAD REZNEJ SILY PRI FRÉZOVANÍ [29].....	36
OBR. 29) ÚPLNÉ UVOLENENIE VSTUPNÉHO HRIADEĽA	43
OBR. 30) VYVŔTAVACIA HLAVA ZOBRAZENÁ V REZE.....	45
OBR. 31) VRCHNÁ ČASŤ VH ZOBRAZENÁ V REZE	45
OBR. 32) DETAIL SPODNEJ ČASTI PO ODSTRÁNENÍ SPODNÉHO VÍKA ...	47
OBR. 33) MAXIMÁLNY PRIEMER FRÉZOVANÉHO OTVORU	47
OBR. 34) MINIMÁLNY PRIEMER FRÉZOVANÉHO OTVORU.....	48

9 ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1:	Výpočet bezpečnosti prvého planétového prevodu
Príloha 2:	Výpočet bezpečnosti druhého planétového prevodu
Príloha 3:	Výpočet bezpečnosti čelného ozubenia
Príloha 4:	Remeňový prevod maximálny priemer
Príloha 5:	Remeňový prevod minimálny priemer
Príloha 6:	Výkres vstupného hriadeľa
Príloha 7:	Výkres satelitu prvého planétového prevodu
Príloha 8:	Výkres zostavy
Príloha 9:	Model vyvrtavacej hlavy